رقم الترتيب:

رقم التسلسل:

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي

كلية العلوم الدقيقة

قسم الفيزياء

مذكرة تخرج لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة

تخصص : فيزياء تطبيقية إشعاع و طاقة

من إعداد:

ميـــهوب يـوسف

الموضوع:

دراسة كفاءة منظومة الليزر الشمسي باستعمال المركز الشمسي مصفوف الحلقي

Study the efficiency of the solar laser system using the Ring Array Concentrator

نوقشت يوم:2021/09/26

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة:

أحميم رشيد	أستاذ محاضر –أ-	رئيسا	جامعة الوادي
رحومة فرحات	أستاذ تعليم العالي	مناقشا	جامعة الوادي
محلو السعيد	أستاذ محاضر-أ-	مؤطرا	جامعة الوادي

أنجزت هذه المذكرة بمخبر استغلال وتثمين المصادر الطاقوية الصحراوي

الموسم الجامعي: 2021/2020

الإهـــداء

إلى من بلغ الرسالة و أدى الأمانة...ونصح الامة...الى نبي الرحمة ونور العالمين سيدنا محمد ﷺ

إلى من اثقلت الجفون سهرا... وحملت الفؤاد هما...وجاهدت الأيام صبرا... وشغلت البال فكرا...ورفعت الايادي دعاءا...وأيقنت بالله املا...حفظها الله وأطال في عمرها " أمي الحبيبة"

إلى من كلله الله بالهيبة والوقار...إلى من يعجز لساني عن وصف جميله...إلى من أحمل اسمه بكل افتخار...أرجو من الله أن يشفيك و يمد في عمرك "أبي الغالي" أدامه الله لنا

وإلى إخوتي و أخواتي كل بإسمه

كما أهدي هذا العمل

إلى التي اتقاسم معها حلو الأيام ومرها الى من وهبني إياها ربي العالمين إلى زوجتي

و إلى بنتاي الحبيبتين سجى و لجين

وإلى كل العائلة الكريمة حفظهم الله و أنار دربهم

شكر و عرفان

بسم الله الرحمـن الرحيـم

الحمد لله نـحمده حمدا كثيرا طيبا مبارك فيه

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين سيدنا و حبيبنا محمَّد صلى الله عليه وسلم وعلى آله وصحبه ومن تبعهم بإحسان إلى يوم الدين

أتقـدم بالشكـر إلى الأستـاذ السعيد محلو لتأطيره و إشرافه على إنجاز هذا العمل كما أتقدم بالشكر الخاص إلى أعضاء اللجنة المناقشة المتمثلة في :

الأستاذ أحميم رشيد رئيسا

و

الأستاذ فرحات رحومة مناقشا

كما يسرني أن أوجه شكري لكل من نصحني أو أرشدني أو وجهني أو ساهم معي في إعداد هاته المذكرة سواء كان من بعيد أو من قريب و في مقدمتهم

الأستاذة الأخـوه هـدى

على ما قدمته لي من علم ، ارشاد و مساعدة.

نشكر طاقم مخبـر استغـلال وتثمين المصادر الطاقوية الصحراوي على كل ما قدموه لي من عون و على رأسهم رئيس المخبر الأستاذ رحومة فرحات

فهرس المحتويات

الإهداء.....II
شكر وعرفان.....III
فهرس المحتويات.....IV
فهرس الأشكال.....X
فهرس الجداول.....XII
قائمة الرموز.....XIV
مقدمة عامة.....1

الفصل الأول: الأشعة الشمسية

1- تمهيد:.....3
2- نبذة عن الشمس و طاقتها:.....3
3- الإشعاع الواصل إلى اللأرض :. 4
4- الاشعاع الشمسي:.....5
5-1- الطيف الشمسي : 6
5-2- تأثيرات الغلاف الجوي :.....7
5-3- العوامل المؤثرة في توزيع الاشعاع الشمسي:.....8
6- الأرض :.....9
6-1 تعريف:.....9
6-2- خطوط الطول و دوائر العرض: 9
6-3- موقع الأرض من الشمس :.....11
7- الزوايا الشمسية :.....12
7-1- زاوية دائرة العرض φ : 12
7-2- زاوية خط الطول L:.....12
7-3- زاوية ميل الشمس δ:.....13

4-7 زاوية الارتفاع الشمسي h :.....13

5-7- زاوية السمت الشمسي a :.....14

6-7- زاوية الساعة الشمسية ω :.....14

7-7- الأوقات الشمسية المختلفة :.....15

8- نماذج الإشعاع الشمسي :.....16

1-8 الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي:.....16

2-8-الاضاءة: 16

3-8- الإشعاع الشمسي في وجود الغلاف الجوي: 17

1-3-8-الإشعاع الشمسي على مستوى أفقي: 17

1-1-3-8- إشعاع مباشر: 17

2-1-3-8- الإشعاع المنتشر : 17

3-1-3-8- الإشعاع المنعكس: 17

4-1-3-8- الإشعاع الكلي ϕ_G: 18

2-3-8- الإشعاع الشمسي على مستوى مائل:.....18

1-2-3-6-الإشعاع المباشر: 19

2-2-3-8-الإشعاع المنتشر: 19

3-2-3-8- الإشعاع المنعكس:.....20

4-2-3-8- الإشعاع الكلي لسطح مائل : 20

9- الخاتمة: 21

الفصل الثاني : تركيز وتوجيه الإشعاع الشمسي

1- تمهيد: 23

2- المركزات الشمسية: 23

1-2- تعريف المركزات الشمسية:.....23

2-2- أشكال المركزات الشمسية:.....23

2-3- أنواع المركزات الشمسية:.....24
2-3-1- المركزات النقطية :.....25
أ- مركز القطع المكافئ :.....25
ب- عدسات فرينل:.....25
ج- مركز مصفوف الحلقي:.....26
2-3-2- مركزات خطية: 27
2-3-2-1- حوض القطع المكافئ :.....27
2-3-2-2- نظام فرينل الخطي:.....28
2-4- مبدأ عمل المركزات الشمسية:.....28
3- الموجهات الضوئية.....29
3-1- تعريف الموجهات الضوئية: 29
3-2- أنواع الموجهات الضوئية: 30
3-2-1- موجهات مستوية.....30
3-2-2- موجهات دائرية: 30
4- الألياف البصرية : 31
5- الدليل الموجي البصري: 31
6- دراسة نظرية لمركز مصفوف حلقي RAC: 32
6-1- مركز مصفوف حلقي RAC: 32
6-2- لماذا تم إختيار مركز مصفوف الحلقي RAC: 32
6-3- منهجية تصميم RAC : 33
7- الخاتمة : 38

الفصل الثالث : الليزر و الليزر الشمسي

1- تمهيد : 40
2- نبذة تاريخية: 40
3- تعريف الليزر LASER: 41
4- مفاهيم أساسية : 42

4-1- الفوتون : 42
4-2- المحور البصري: 42
4-3 الطور : 42
4-4- التداخل : 42
4-5 التداخل البناء:.....43
4-6 التداخل الهدام 43
4-7 المرنان :.....43
4-8 الإنفراجية 43
4-8-1- الأنماط الطولية :.....43
4-8-2- الأنماط العرضية : 44
4-9- الترابط :.....44
4-10- إسكان المستوي :.....44
4-11- التردد : 44
4-12- الطيف الكهرومغناطيسي :.....45
4-13- الوسط الفعال..... 45
4-14- نمط التشغيل : 45
4-15- نصف قطر المرآة D : 45
5- التفاعل بين الضوء والمادة:.....45
5-1- الامتصاص : 46
5-2- الانبعاث :.....46
5-2-1 الانبعاث التلقائي:.....46
5-2-2- الانبعاث المحفز أو المستحث : 47
5-3- الإنقلاب السكاني: 48
5-4- الضخ: 48

5-6-1- أنواع الضخ:.....49

6- أنظمة المستويات الليزرية:.....49

6-1- نظام المستويات الثلاثية : 49

6-2- نظام المستويات الرباعية : 50

7- المرنان : 51

7-1- الترصيف البصري: 51

7-2- أنواع المرنان : 51

8- عرض خط الانبعاث : 52

9- عامل النوعية للمرنان Q : 52

10- خواص الليزر : 53

10-1- أحادية الطول الموجي : 53

10-2- الترابط : 53

10-3- الاتجاهية : 53

10-4- السطوع : 53

11- أنواع الليزر : 53

11-1- المرنان : 53

11-2- الوسط الفعال : 54

11-3- مصدر الطاقة : 55

12- الليزر الشمسي: 56

12-1- نبذة تاريخية : 56

12-2- تعريف الليزر الشمسي: 60

12-3- مكونات منظومة الليزر الشمسي: 60

12-4- الضخ الشمسي : 60

10-4-2- الضخ الجانبي: 61

10-4-2- الضخ عند الأطراف: 61

10-5- المادة الفعالة: 62

11- الخاتمة : 63

الفصل الرابع : المحاكاة العددية

1- تمهيد : 65

2- برنامج زيماكس ZEMAX : 65

2-1- النافذة الرئيسية :.....65

2-2- نوافذ المحرر :.....66

2-3- نوافذ النص :.....66

2-4- الحوارات :.....66

2-5- العناصر البصرية :.....67

3- منظومة الليزر الشمسي : 68

4- مركز مصفوف حلقي RAC: 69

5- منهجية تصميم مركز مصفوف الحلقي RAC:.....70

5-1- وصف مركز مصفوف الحلقي RAC:.....70

5-2- الطرق التحليلية و الرقمية لمركز مصفوف الحلقي RAC:.....71

5-2-1- الطريقة التحليلية لتصميم مركز مصفوف الحلقي RAC:.....71

5-2-2- محاكاة منظومة مركز مصفوف الحلقي RAC بواسطة ZEMAX:.....73

5-2-3-نتائج المحاكاة :.....75

5-2-4-تحليل نتائج المحاكاة :.....75

6- الخاتمة :.....76

الخاتمة العامة :.....77

المراجع :.....78

فهرس الأشكال

رقم الشكل	عنوان الشكل	الصفحة
	الفصل الأول : الأشعة الشمسية	
1	مكونات الشمس	4
2	توزيع الإشعاع الشمسي	4
3	خريطة توزيع الإشعاع الشمسي	5
4	طيف الاشعاع الشمسي الواصل للكرة الارضية	6
5	دوائر الطول و خطوط العرض	10
6	سقوط الأشعة المباشرة من الشمس على الأرض في الفصول الأربعة	11
7	زاوية دائرة العرضφ	12
8	زوايا تحديد الموقع	12
9	زاوية السمت a و زاوية الإرتفاع h	13
10	الإحداثيات الساعية	15
	الفصل الثاني : تركيز و توجيه الإشعاع الشمسي	
1	أشكال المجمعات	22
2	مجمع القطع مكافئ	23
a-3	حلقات مركز مصفوف الحلقي	24
b-3	مركز مصفوف الحلقي RAC بعد التجميع	24
4	حوض القطع المكافئ	25
5	عدسة فرينل العاكسة	26
6	رسم تخطيطي لظاهرة الانعكاس	27
7	أنواع قناة الموجه الضوئي	27
8	موجهات ضوئية مستوية	28
9	موجهات ضوئية دائرية	28
10	الليف البصري	29
11	توجيه الإشعاع المركز بواسطة دليل ضوئي نحو الوسط الفعال	30
12	مركز مصفوف حلقي RAC	30
13	(A) مركز مصفوفة الحلقة (RAC) ذو سبع حلقات	31
13	(B) المرآة المكافئة للفرن الشمسي متوسط الحجم	31
14	مخطط لحلقات مركز RAC ذو سبع حلقات	31
15	تحديد مواقع الحلقة المكافئة الأولى	34
16	تحديد موقع الحلقة المكافئة الثانية	34
	الفصل الثالث : الليزر و الليزر الشمسي	
1	تصميم أول ليزر ياقوت	35
2	الطيف الكهرومغناطيسي	36
3	ألوان الطيف الكهرومغناطيسي	36
4	المحور البصري	37

5	انفراجية الشعاع العادي وشعاع الليزر	38
6	الأنماط المستعرضة	39
7	ظاهرة الإمتصاص	41
8	ظاهرة الإنبعاث التلقائي	42
9	ظاهرة الإنبعاث المحفز	43
10	نسبية الإسكان في مستويين من الطاقة	44
11	رسم تخطيطي لمستوى الطاقة لنظام ليزر ذو ثلاث مستويات	45
12	رسم تخطيطي لمستوى الطاقة لنظام ليزر ذو أربع مستويات	46
13	أصناف المرنان	48
13	منظومة الليزر الشمسي	56
14	الضخ الشمسي	57
15	رسم تخطيطي لمنظومة الضخ الجانبي	57
16	رسم تخطيطي لمنظومة الضخ على الطرف	58
17	مخطط الانتقالات الطاقوية داخل بلورة Nd:YAG	59
	الفصل الرابع: محاكاة عددية	
1	صورة لنافذة برنامج ZEMAX	61
2	مواد مختلفة في محرر المكونات	62
3	قائمة مع خصائص العناصر الزجاجية في ZEMAX	63
4	رسم تخطيطي يوضح منظومة الليزر الشمسي	64
5	حلقات المركز RAC	64
6	المركزRAC بعد التجميع	65
7	مخطط لمركز مصفوف الحلقي RAC	65
a-8	تمثيل ثلاثي الأبعاد لمركز مصفوف الحلقي RAC	69
b-8	مقطع عرضي لمركز مصفوف الحلقي RAC و مسار الأشعة الشمسية	69
9	تمثيل ثلاثي الأبعاد لمركز مصفوف الحلقي RAC بإستعمال ZEMAX	69
10	صورة تمثل توزيع الطاقة المركزة و قيمتها الكلية في بؤرة مركز مصفوف الحلقي RAC يجسدها الكاشف الضوئي	70

فهرس الجداول

ترتيب الجدول	العنوان	
1-I	تعريف و أهمية خطوط الطول و دوائر العرض	**10**
1-III	جدول تطور الليزر الشمسي	
2-III	اطوال موجات الامتصاص و الاصدار	**58**
1-IV	أبعاد البداية لوحدة مركز مصفوف الحلقي Ring-Array	**68**
2-IV	معلمات تصميم وحدة مركز مصفوف الحلقي Ring-Array ذو الحلقات السبعة	**68**
3-IV	النتائج المسجلة للطاقة الشمسية المركزة	**70**

قائمة الرموز

الرمز	المقدار الفيزيائي	الوحدة الدولية
λ	طول الموجة	$[m\ ]$
T	درجة الحرارة	[C°]
D_h	شدة الإشعاع المنتشر	$[w/m^2]$
I	شدة الإشعاع المباشر	$[w/m^2]$
ϕ_G	شدة الإشعاع الكلي	$[w/m^2]$
Nj	رقم اليوم من السنة	يوم
D_{T-S}	البعد بين الأرض و الشمس	[UA]
G_{SC}	الثابت الشمسي	$[w/m^2]$
I_o	شدة الإشعاع الشمسي	$[w/m^2]$
δ	زاوية ميل الشمس	[°]
a	زاوية سمت الرأس	[°]
h	الإرتفاع الشمسي	[°]
L	زاوية خط الطول	[°]
A	زاوية السمت الشمسي	[°]
ω	زاوية الساعة الشمسية	[°]
RST	الوقت الشمسي الحقيقي	[h]
TL	التوقيت المحلي	[h]
Et	التصحيح الزمني	[h]
f	البؤري البعد	$[m]$
ξ	ألبيدو	
S_H	التدفق الأفقي المباشر	[W]
p	نصف قطر القطع المكافئ	$[m]$
Ψ	زاوية الفتحة	[°]
S	طول القوس للقطع المكافئ	$[m]$
As	مساحة الفتحة القطع المكافئ	$[m^2]$
c_g	نسبة تركيز الهندسي القطع المكافئ	
A_{abs}	مساحة فتحة السطح المستقبل	$[m^2]$
A_{ref}	مساحة فتحة السطح العاكس	$[m^2]$
$\eta_{optique}$	المردود الضوئي	
Q_{abc}	تدفق الإشعاع الشمسي الواصل على سطح المستقبل	[W]
Q_{ref}	يمثل تدفق الإشعاع الشمسي الوارد	[W]

الرمز	المقدار الفيزيائي	الوحدة الدولية
Δa_n	عرض الحلقة	[mm]
a_{in}	فتحة داخلية دائرية	[mm]
a_{out}	حلقة الفتحة الخارجية	[mm]
C	نسبة التركيز	[mm]
d_t	سمك الخاتم	[mm]
h_a	نصف قطر انحناء الحلقة	[mm]
h_f	الطول البؤري	[mm]
H_n	ارتفاع الحلقة	[mm]
n	رقم الحلقة	
I	طاقة الإشعاع الشمسي لكل وحدة سطحية	[w/m^2]
r	نصف قطر	[mm]
RoC	نصف قطر الانحناء	[mm]
N	عدد الحلقات	
T_h	درجة حرارة جهاز الاستقبال	[°]
T^0	درجة الحرارة المحيطة	[°]
ε	كفاءة الابتعاثية	
Z	الإنحناء لسطح شبه كروي هندسي عام	[mm]
σ	ثابت ستيفان بولتزمان	
R	القطر	[mm]
θ_α	زاوية الحافة	[°]
d_W	متغير عرض الحلقة الأولي	[mm]
h_d	تغيرالوضع الرأسي لكل حلقة	[mm]
K_T	معامل صفاء الجو	
Φ_{GH}	التدفق الأفقي الكلي	[W]

جدول المصطلحات

المختصر	المصطلح باللاتنية	المصطلح بالعربية
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation	تضخيم الضوء بانبعاث الاشعاع المحفز
UV	UltraViolet	فوق البنفسجي
RAC	Ring-Array Concentrator	مركز مصفوف الحلقي
HFSF	High Flow Solar Furnace	فرن شمسي عالي التدفق
ACSC	Astigmatism Corrected Solar Concentrator	التصحيح اللابؤري لمكثف شمسي
ULL	Upper Laser Level	مستوى الليزر العلوي
LLL	Lower Laser Level	مستوى الليزر المنخفض
Spont	Spontaneous	تلقائي
	Absorption	امتصاص
Stim	Stimulated	محفز
mm	mille mètre	ميليمتر
Nd :YAG	Neodymium-Doped Yttrium Aluminium Garnet	عقيق الإيتريوم الألومنيوم المشبع بالنيوديميوم
CSP	Concentrated Solar Power	الطاقة الشمسية المركزة
RoC	Raduis of Curvatur	نصف قطر الإنحناء
RST	Real Solar Time	التوقيت الشمسي الحقيقي
	Radius Fresnel lenses	نصف قطر عدسة فرينل
TL	Time Locale	التوقيت المحلي

مقدمة عامة

يعد استخدام الإشعاع الشمسي لإنتاج مصادر طاقة جديدة أحد الاهتمامات الرئيسية للبحث العلمي في مجال الطاقات المتجددة اليوم. في هذا السياق ، يعد تحويل ضوء الشمس عريض النطاق إلى ضوء ليزر، المعروف باسم الليزر الشمسي ، مصدرًا للإشعاع الضيق المترابط والمتوازي ، مع إمكانية الحصول على لمعان وشدة عاليين للغاية ، مفيدًا بشكل خاص. مجالات مثيرة للاهتمام بفضل إمكاناتها الكبيرة للتطبيقات الأرضية مثل معالجة المواد في درجات حرارة عالية ودورة طاقة المغنيزيوم والهيدروجين. كما يمكن أن يوفر حلولاً فعالة للتطبيقات الفضائية مثل اكتشاف الغلاف الجوي والمحيطات ؛ الاتصالات الفضائية ، وإزالة الحطام من الفضاء المداري ، وما إلى ذلك. الليزر الشمسي مرشح طبيعي للتطبيقات التي تكون فيها أشعة الشمس وفيرة وتندر فيها أشكال مصادر الطاقة الأخرى. يعتبر التحويل المباشر لأشعة الشمس إلى ضوء ليزر موضوعًا مثيرًا للاهتمام في فيزياء الليزر[19].

نما العمل على الليزر الشمسي بشكل مطرد منذ عام 1966 ، عندما أنتج C.G.Young أول ليزر شمسي ونشر عمله الشهير حول انبعاث الليزر بواسطة الضخ الشمسي. وضع هذا العمل الأساسي الأسس لتحسين أداء الليزر الشمسي حيث حفز هذا الاكتشاف العديد من الباحثين إلى تطوير تقنيات مختلفة للحصول على انبعاث الليزر.[13]

يقترح العمل الحالي طريقة نظرية لضخ قضيب بلوري Nd: YAG من ضوء الشمس، من أجل إنتاج إشعاع الليزر، من خلال ما يسمى بمركز مصفوفة الحلقي، الذي قدمه Vasylyev [15].

والتي تتكون من عدة حلقات متحدة المحور تركز في نفس النقطة ، بالإضافة إلى ذلك، تم أيضًا تقديم اقتران عدسة فرينل صغيرة لجمع الأشعة الشمسية المفقودة في وسط المركز مع هذا التجميع ، تم محاكاة مركز مصفوفة الحلقي باستعمال البرنامج $ZEMAX$.

تعتمد مركزات الضوء التقليدية لضخ الليزر على نظام انعكاس من مرحلتين مع مرايا بنظام تتبع وعاكس مكافئ مع ضبط نقطة التركيز على قضيب الليزر[13]. لا تزال هذه الأنظمة هي الأرفع في الوقت الحاضر، ومن ثم فهي التقنية الأكثر استخدامًا لتحقيق كفاءة امتصاص عالية ، وليزر عالي الطاقة ، وكفاءة تجميع أفضل. ومع ذلك يقلل التظليل الناتج عن راس الليزر وجهاز التموضع من كفاءة هذه الانظمة [23].

سيعمل مركز المصفوفة متعددة الحلقات العاكسة على حل المشكلات المذكورة أعلاه باستخدام نظام انعكاس مرحلي واحد فقط على كل سطح مكافئ ، كل منها بنصف قطر مناسب لتركيب بقعة صغيرة واحدة تركز على قضيب الليزر.

- ينقسم هذا العمل الى اربعة فصول سنتطرق في الفصل الاول الى دراسة نظرية حول الطاقة الشمسية بحيث نعرف الاشعاع الشمسي و زوايا سقوطه.يهتم الفصل الثاني بدراسة عامة حول المركزات الشمسية والموجهات الضوئية بمختلف انواعها و كيفية توجيه الاشعاع الشمسي بعد عملية تركيزه.

بينما يتناول الفصل الثالث دراسة عامة حول الليزر وخصائصه ومميزاته ومن ثم نتطرق لليزر الشمسي.

يخصص الفصل الرابع لدراسة المحاكاة العددية باستخدام برنامج $ZEMAX^{TM}$ بهدف الحصول على أكبر استطاعة ممتصة من قبل المادة الفعالة، وذلك بإجراء عملية محاكات لمنظومة ليزرية مصدر ضخها مركز مصفوف حلقي RAC.

وفي الاخير نختم دراستنا بخاتمة عامة حول انتاج الليزر وذلك باستخدام مركز مصفوف الحلقي RAC. Ring-Array Concentrator

الأشعة الشمسية

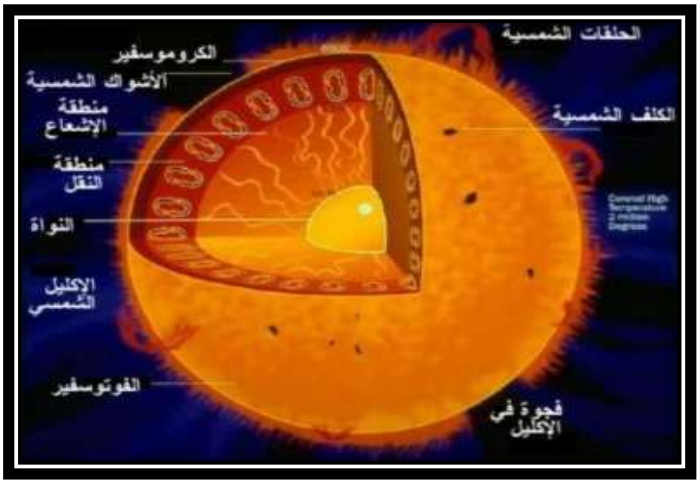
1- تمهيد:

تعتبر الطاقة الواردة إلينا من الشمس من أهم أنواع الطاقات التي يمكن للإنسان استغلالها فهي طاقة دائمة لا ينتج عن استخدامها غازات أو نواتج ثانوية ضارة بالبيئة مقارنة بالصادر الأخرى ولا تترك مخلفات على درجة من الخطورة مثل النفايات المشعة التي تنتج عن استعمال الطاقة النووية.وفكرة استخدام الطاقة الشمسية في التسخين أو تحريك الآلات ليست حديثة علي الإطلاق و يحدثنا التاريخ بأن أرخميدس الذي عاش في القرن الثالث قبل الميلاد قد استخدم الأشعة الشمسية في إحراق سفن العدو, ومن المعتقد أنه استخدم مرايا لتركيز أشعة الشمس على صواري السفن[1].

ولقد أصبحت للطاقة الشمسية مكانتها اللائقة بين المصادر الأخرى للطاقة في الوقت الحاضر واعتمدت ميزانيات كبيرة في اغلب الدول لاستغلال هذه الطاقة, كما تعددت الطرق المقرحة للاستفادة وذلك بابتكار طرق لتجميع حرارة الشمس وامتصاصها أو تحويل ضوء الشمس الى طاقة كهربائية بواسطة الخلايا الشمسية وكذلك استخدام مركزات مثل عدسات فرينل ,مركز مصفوف حلقي RAC..... لتجميع ضوء الشمس وهذا ما سنتناوله خلال دراستنا لهذا البحث أما في هذا الفصل فسنتطرق إلى دراسة عامة حول الطاقة الشمسية حيث نذكر بعض العلاقات و المعادلات المتعلقة بحساب شدة الإشعاع الشمسي خلال فصول السنة و العوامل المؤثرة عليه أثناء سقوطه على منطقة من سطح الأرض[2].

2- نبذة عن الشمس وطاقتها:

إن مصدر الطاقة هو تفاعل الاندماج النووي الجاري باستمرار في مركز الشمس ، ويعادل مقدار هذه الطاقة الواصلة إلى سطح الأرض 15 ألف مرة مما يحتاجه سكان الأرض جميعا من الطاقة بكميات كبيرة من كتلة الشمس تتحول إلى طاقة بواسطة عمليات الاندماج النووي ، وتتكون الشمس من مجموعة من العناصر [3]. كما هو موضح في الشكل (1):

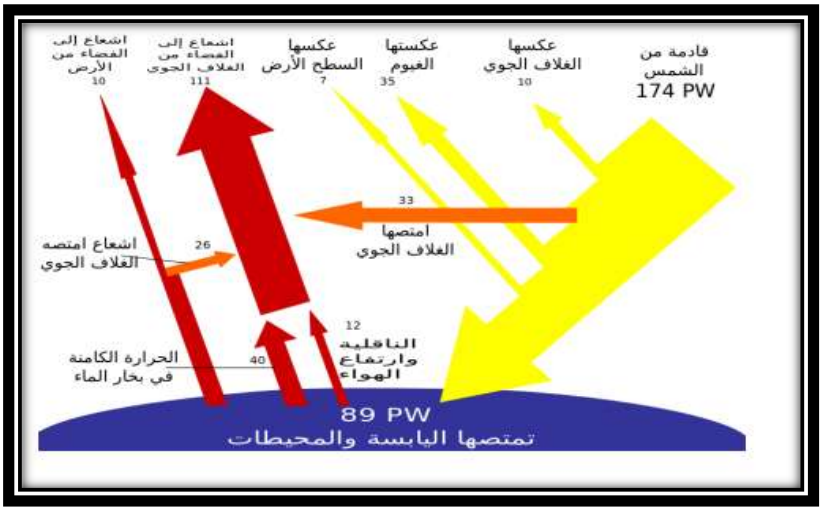


الشكل (1) : مكونات الشمس[4]

- **النواة الشمسية:** وفيه تتم العمليات النووية الاندماجية التي تنتج الطاقة
- **منطقة الإشعاع:** وهو الغلاف الذي يحيط بالنواة
- **منطقة النقل:** تتميز بأن الطاقة تنتقل خلاله بواسطة حركه عنيفة للغازات الحرة
- **الفوتوسفير:** وهي الطبقة الخارجية للشمس وتعلو منطقة النقل التي تبلغ درجة حرارتها حوالي (6000 درجة مئوية) ,هو الجزء المرئي لنا من الشمس[5].
- **الهالة :** وهي تغلف بيئة الشمس وتمتد هذه الهالة إلى ما يزيد عن (100000 كم) لكن هذه الهالة تخفى عن الأنظار بسبب الضوء الساطع الصادر عن الكرة المضيئة ولا يمكن رؤيتها إلا خلال حدوث كسوف كلي[4].

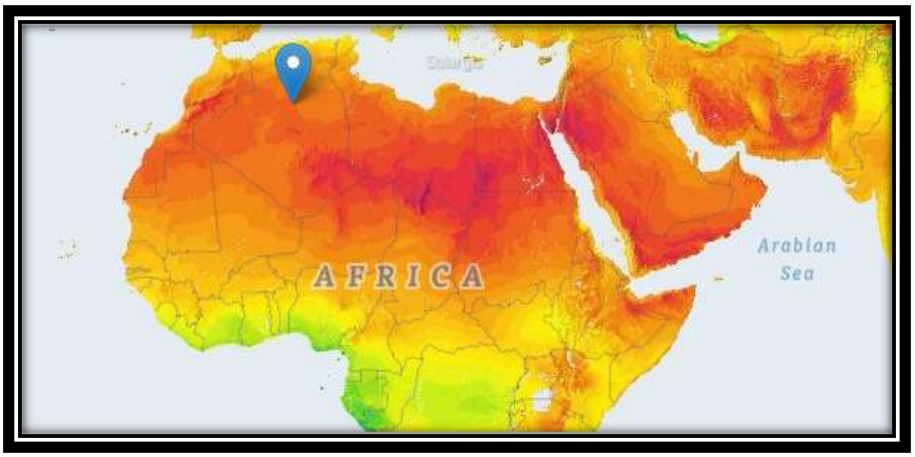
3- الإشعاع الواصل إلى اللأرض:

يتعرض الاشعاع الشمسي قبل وصوله إلى الأرض الى انعكاسات ، تشتت وامتصاص بواسطة الغلاف الجوي للأرض فتتلاشى تقريبا كل الأشعة فوق البنفسجية وجزء معين من الأشعة تحت الحمراء إلا أن الطاقة الشمسية التي تصل إلى الأرض خلال سنة واحدة تفوق احتياج العالم من الطاقة بمقدار عشرة آلاف مرة، ويسمى جزء الأشعة الذي يصل إلى الأرض مباشرة من قرص الشمس دون أن يتعرض للانعكاس الإشعاع المباشر، أما الجزء الذي يتشتت بواسطة بخار الماء والغبار فيسمى بالإشعاع المبعثر ويدعى مجموع الإشعاع المباشر والمبعثر الذي يصل إلى سطح الأرض بالإشعاع الكلي كما يوضحه الشكل**(2)**[1] .



الشكل (2) : توزيع الإشعاع الشمسي

للدول العربية بشكل عام والجزائر بشكل خاص لها نصيب الأسد من الطاقة الشمسية لموقعها الجغرافي المميز حول مدار السرطان حيث يصلها من ($300 - 350 w/m^2$) كما هو موضح في الشكل (3) وبالطبع مدينة الوادي تقع ضمن هذا النطاق الغني بالإشعاع الشمسي معظم أيام السنة[8].



الشكل(3): خريطة توزيع الإشعاع الشمسي[8]

4- الاشعاع الشمسي:

يعد الاشعاع الشمسي مصدر الطاقة الرئيس في الغلاف الجوي، اذ يسهم بأكثر من (98.99%) من الطاقة التي تم استغلالها على سطح الارض و بالغلاف الجوي. أما بقية المصادر من الطاقة المتمثلة بطاقة باطن الارض وطاقة المد والجزر و النجوم فأنها لا تسهم الا بقسط ضئيل جدا [6].

ان الطاقة الشمسية هي المسؤولة عن كل العمليات التي يتم حدوثها في الغلاف الجوي كالاضطرابات الجوية والرياح والسحب و الامطار والبرق والرعد و غيرها ، و انها السبب الرئيس في حركة الغلاف الجوي المستمرة وحالات الطقس ، وكما أن الاختلافات الرئيسية التي تحدث بين مكان وآخر هي في توافر طاقة الشمس. والشمس هي كتلة غازية ملتهبة تكبر عن الارض بمائة مرة من ناحية القطر وان حجمها يعادل تقريبا حجم الارض بمليون مرة وتقدر درجة الحرارة لسطحه الشمس بنحو (6000 كلفن)، وتبلغ حرارة المركز بقيمة اكثر من (20 مليون كلفن)[2] [7].

ونظرا الى ان المدار الارضي شبه دائري ، فأن انحرافه المركزي لا يتعدى (0.01675) ، لذا فأنه لا يلاحظ سوى تغير بسيط في المسافة بين الارض والشمس بنسبة لا تفوق (1.65%) ، وتكون هذه المسافة في حدها الادنى في اوائل شهر كانون الثاني وفي حدها الاقصى في اوائل شهر تموز.

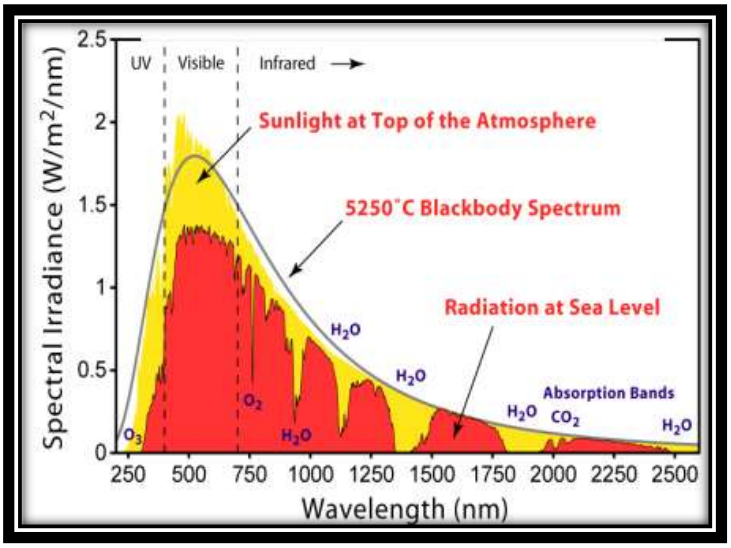
وينتج من خلال اقتراب الكرة الارضية وابتعادها عن الشمس تغير في القطر الزاوي من (31.'25) الى (32.'30) ، مما يؤدي الى تغير يسير في شدة الاضاءة المرسلة من الشمس يقدر بنحو (3.3%) اي ضعف النسبة المسجلة على المسافة. وتبلغ هذه النسبة اقصاها في الشتاء كما تتغير شدة الاضاءة بين مدد الشمس الهادئة ومدد ظهور الكلف الشمسية الكبرى بنسبة لا تتجاوز (4%) [8].

1-5- الطيف الشمسي:

يمكن ان نقسم الطيف الشمسي الى ثلاثة اقسام هي:

❖ **الموجات الحرارية:**

وهي اشعة غير مرئية بالنسبة للطيف الكهرومغناطيسي وتنسب الى مجموعة الموجات ذات المدى الطويل وتعرف بالأشعة تحت الحمراء وتقدر نسبتها نحو (49%) من مجموع الاشعاع الشمسي[8] . وجزئها الاكبر لهذه الاشعة يسهم في رفع درجة حرارة الغلاف الجوي وسطح الارض وهي بذلك يكون لها اثر كبير في الدراسات المناخية ، ويسهم بخار الماء في امتصاص قسم كبير منها عند اطوال موجية معينة كما مبين في الشكل (4) [8][9].



الشكل (4) : طيف الاشعاع الشمسي الواصل للكرة الارضية [8]

❖ **الضوء المرئي:**

وهي اشعة مرئية تقدر نسبتها بنحو (43%) من مجموع الاشعاع الشمسي ، ويكون من ضمنها الاشعة الحمراء والزرقاء والخضراء وتعتمد النباتات على هذه الاشعة في عملية التركيب الضوئي[9].

❖ **الاشعة فوق البنفسجية:**

وتضم نحو (7%) من مجموع اشعة الشمس وتكون هذه الاشعة ذات طول موجي قصير وتصبح مفيدة للإنسان اذا وصلت له بكميات قليلة ، اذ تساعد الانسان على العلاج من بعض الامراض ومثل الكساح وذلك لقدرتها على انتاج فيتامين (D) وان وصولها للأرض يكون بنسبة قليلة جدا وذلك لأنها تمتص من قبل غاز الاوزون الذي يكون ارتفاعه عن الارض نحو (km35).

اما بقية الاشعاع الشمسي يقدر بنحو (1%) فيكون بشكل اشعة سينية و غاما وموجات راديوية [10].

2-5- تأثيرات الغلاف الجوي:

يتعرض الاشعاع الشمسي عند انتقاله عبر الغلاف الجوي لعدة عمليات بسبب ما يوجد من مكونات في الغلاف، ومن اهم تلك العمليات هي :

❖ **الامتصاص:**

يمتص الاوكسجين بعض من اشعة الشمس في اعلى طبقات الجو ويمتص جانبا من الاشعة فوق البنفسجية ، وكذلك الاوزون يمتص ايضا وبكميات كبيرة جانبا من الاشعة فوق البنفسجية ، اما طبقات الهواء

السطحية فتقل فيها الاشعة فوق البنفسجية بصورة نسبية ، وذلك لان اغلبها يمتص في اعلى طبقات الجو فلا يصبح للأوكسجين أو الاوزون عمل في الامتصاص ، و انما بخار الماء الذي يقوم بهذا العمل والذي يكثر تواجده في اسفل طبقات الجو، وكذلك تقوم المواد العالقة في الجو(الغبار) وبعض غازات الجو بالامتصاص[11].

❖ **تشتت الاشعة:**

ويترتب على تشتت الاشعة عند مرورها في الغلاف الجوي انتشارها في جميع الاتجاهات وتقوم جزيئات الهواء و حبيبات الغبار و بخار الماء وغيرها من الشوائب التي تكون عالقة في الغلاف الجوي بعملية الانتشار ، وهناك نوعان من التشتت (تشتت رايلي و ماي) ان تشتت رايلي هي تبعثر مرن للضوء أو أي أشعة كهرومغناطيسية أخرى تتبعثر نتيجة تأثير جسيمات أصغر من الطول الموجي للضوء ، يمكن أن تكون هذه الجسيمات إما ذرات مستقلة أو جزيئات ، يمكن أن يحدث هذا التبعثر عند انتقال الضوء في وسط شفاف صلب أو سائل ، لكن أغلب حالاته يحدث في الغازات[1].

❖ **انكسار الاشعة:**

عند انتقال الشعاع من وسط الى اخر يختلف عنه في معامل الانكسار فأنه ينحرف عن اتجاهه المستقيم، وتكون قطرات الماء الموجودة في الجو والسحب وغيرها من الشوائب عاملا كبيرا في انحراف جزء من الاشعاع الشمسي ولكن السحب تبقى هي العامل الرئيس[1].

5-3- العوامل المؤثرة في توزيع الاشعاع الشمسي:

العوامل التي تؤثر في توزيع الاشعاع الشمسي والتي تؤثر بشكل كبير في قوة الاشعاع الشمسي من مدة لأخرى وهي تتمثل بـ [12] :

❖ **زواية سقوط:**

تؤثر هذه الزواية في مقدار الاشعة الشمسية الواصلة لسطح الكرة الأرضية وذلك لان الاشعة الشمسية ذات السقوط العمودي او شبه العمودي عند وصولها للأرض تكون قوية وذات شدة وتركيزا عالي جدا ، ولكونه هذه الاشعة مسافاتها التي تقطعها اقصر من الاشعة ذات السقوط المائل ، لذلك تكون اقل تعرض للخسارة بفعل تأثير كل من الانكسار والانتشار والامتصاص التي تحدث في الغلاف الخارجي ، وكما ان حزم الاشعة العمودية تكون موزعة على مساحة قليلة ، بينما الاشعة ذات السقوط المائل فإنها موزعة على مساحة اوسع لذلك تصبح ضعيفة الاثر واقل شدة من الاشعة الشمسية العمودية [3].

زاوية السقوط = زاوية الانعكاس

❖ **باختلاف فترة النهار:**

يؤدي اختلاف فترة النهار دورا كبيرا في عدم تعادل كمية اشعة الشمس الواصلة الى سطح الكرة الارضية عند دوائر العرض المختلفة. فأنه لا يختلف فترة النهار والليل للمناطق المدارية طوال السنة تقريبا ، اما المناطق الباردة والمعتدلة فأن النهار فيها يزيد طوله في الصيف ويصبح اقصر في الشتاء ، وكلما ازداد الفرق بين النهار والليل زادت دوائر العرض بينهما.

❖ **شفافية الغلاف الغازي:**

يمثل كل من الغبار والسحب وبخار الماء والرماد دورا كبيرا في عملية امتصاص وتشتت الاشعة في الجو، وعلى ذلك فان المناطق التي يكثر فيها والهواء الملوث بالأتربة والسحب تستلم كميات قليلة من الاشعاع الشمسي مقارنة بالمناطق ذات الجو الشفاف[3].

❖ **التضاريس:**

تؤدي التضاريس دورا كبيرا في تباين كميات الاشعاع الشمسي الواصلة من منطقة الى منطقة اخرى فاتجاه السفوح الجبلية وانحدارها يؤثر بشكل كبير في كميات الاشعاع الشمسي التي تصل الى تلك السفوح وخاصة في المناطق المعتدلة والباردة ، حيث تصلها اشعة الشمس بشكل مائل ، اما المناطق المدارية ويكون فيها هذا العامل محدودا حيث يكون وصول اشعة الشمس اليها بشكل عمودي او شبه عمودي طوال السنة .

❖ **الالبيدو:**

وهو نسبة ما يعكس من قبل سطح الارض الى الفضاء بصورة مباشرة من الاشعاع الشمسي الصافي الواصل اليه ، وتختلف نسبة الالبيدو من مكان الى مكان اخر تبعا لموقع المنطقة من دوائر العرض واختلاف طبيعة السطح من حيث التركيب واللون ووجود النبات ونوعها أو عدم وجودها وتغطية المنطقة بالثلوج وطول مدة بقائها.

6- الأرض :

1-6 تعريف: كوكب الأرض هو واحد من تسعة كواكب سيارة تدور حول الشمس في الإتجاه نفسه أقرب كوكب سيار هو عطارد ويليه الزهراء ثم الأرض ...حتى بلوتو.

لسهولة دراسة كوكب الأرض نظرا لاتساعه قام العلماء برسم خطوط الطول و دوائر العرض على خرائط تمثل سطح الأرض.

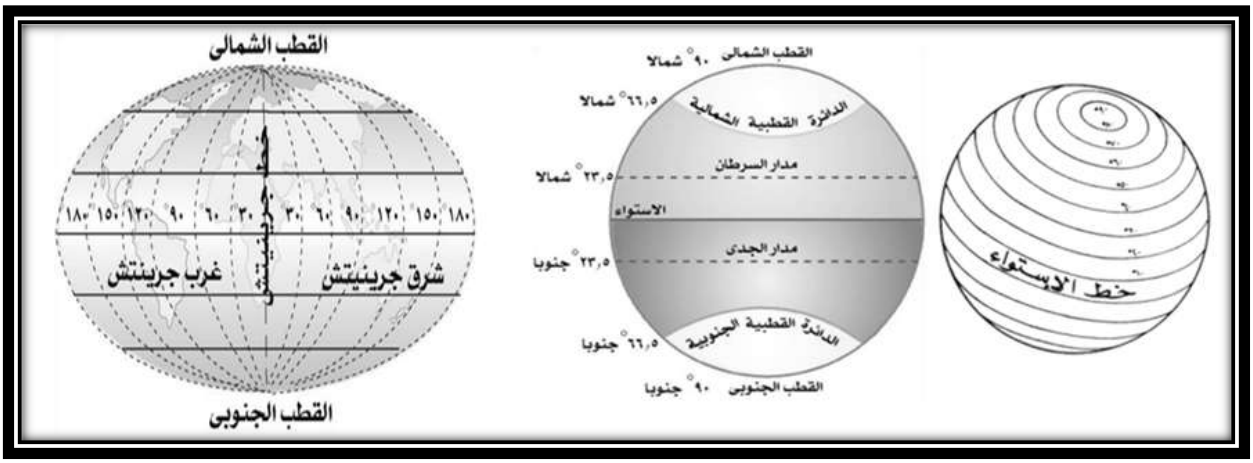
2-6- خطوط الطول و دوائر العرض:

يوضح الجدول (1) تعريف و أهمية خطوط الطول و دوائر العرض:

الجدول (1): تعريف و أهمية خطوط الطول و دوائر العرض[43]

البند	التعريف	الاهمية
خطوط الطول	• هي أنصاف دوائر تبدأ من القطب الشمالي الى القطب الجنوبي و بشكل عمودي تحيط بالأرض • عددها 360 خط • هي خطوط وهمية • خط الطول الرئيسي هو خط غرينش و الذي درجة حرارته 0 و يتوسط خطوط الطول . • تمر هذه الخطوط على مناطق لها نفس التوقيت تماما	• تحديد موقع الأماكن شرق و غرب خط غرينتش • تحديد الزمان و فروق التوقيت في كل جهات العالم. • نتيجة اختلاف الوقت من دولة إلى أخرى حول العالم فإن هذه الخطوط تساعد على تحديد الوقت بدقة
دوائر العرض	• هي دوائر وهمية أفقية تحيط بالكرة الأرضية و تصغر تدريجيا كلما ابتعدنا شمالا أو جنوبا عن خط الاستواء • عددها يساوي 180 دائرة • الدائرة الاساسية هي الدائرة الاستوائية و درجة حرارتها 0 وهي اطول دائرة • قسمت المناطق حسب حرارتها على أساس هذه الخطوط	• تحديد المواقع شمال وجنوب الاستواء • تقسيم العالم الى مناطق حرارية و تحديد احوال المناخ (درجة الحرارة) • تستخدم كل من خطوط الطول و دوائر العرض في تحديد موقع المكان و موضع الانسان برا, بحرا أو جوا

و يوضح الشكل (5) خطوط الطول و دوائر العرض موقعة على سطح الأرض



الشكل(5) : دوائر الطول و خطوط العرض[43]

3-6- موقع الأرض من الشمس:

ان الطاقة الشمسية هي احدى مصادر الطاقة الهامة للأرض, حيث تصل كمية هائلة من ضوء الشمس في الفضاء المحيط بالأرض, نتيجة دوران كوكب الأرض حول الشمس في مدار محدود فإن كميات متفاوتة من هذه الطاقة تصل سطح الأرض يوميا. تعتمد هذه الكميات على موقع الأرض من الشمس و على فصول السنة الأربعة. و الشكل (6) يوضح سقوط الأشعة المباشرة من الشمس نحو الأرض في هاته الفصول [43].

الشكل(6): سقوط الأشعة المباشرة من الشمس على الأرض في الفصول الأربعة

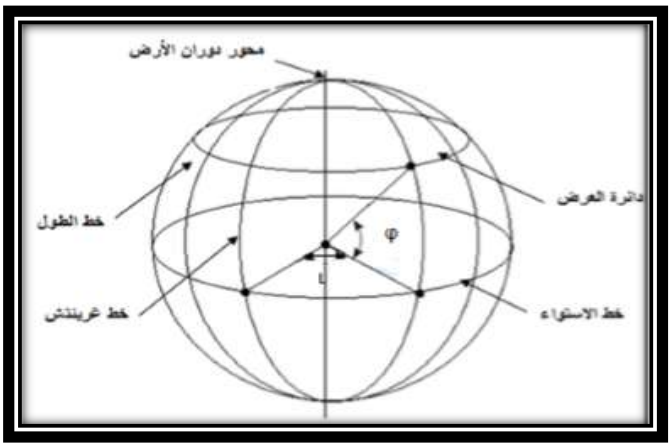
7- الزوايا الشمسية:

7-1- زاوية دائرة العرض φ :

هي الزاوية المحصورة بين المتجه المار بنقطة على سطح الأرض ومركز الأرض ومسقطه على خط الاستواء ويتراوح مجال قيمتها $\varphi \in [\frac{-\pi}{2}; \frac{\pi}{2}-]$, كما هو موضح في الشكل (7) ،[3] حيث:

$\varphi > 0$:شمال خط الاستواء.

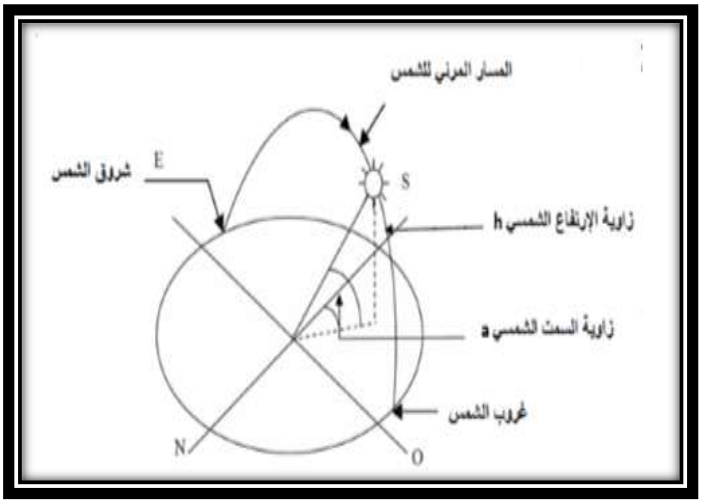
$\varphi < 0$:جنوب خط الاستواء.



الشكل (7) : زاوية دائرة العرضφ

7-2- زاوية خط الطول L:

هي الزاوية التي يصنعها خط الطول المار بالمنطقة مع خط الطول المار بمدينة غرينتش - بريطانيا - الذي نعتبره خط الصفر , تقرأ الزاوية موجبة شرقا وسالبة غربا , وبحيث قيمتها ما بين $L\epsilon[-\pi;\pi]$ [3] كما يوضحه الشكل (8) .



الشكل(8) : زوايا تحديد الموقع

3-7- زاوية ميل الشمس δ:

هي زاوية موقع الشمس بالنسبة لخط الاستواء وتقع بين الخط الواصل بين مركز الشمس إلى مركز الأرض ومسقط هذا الخط على مستوى خط الاستواء ،ويمكن حسابها من العلاقة التالية[7], [13]:

$$\delta = 23.45.\sin[\frac{\pi}{365}(284+n)] \quad (1)$$

حيث n تمثل رقم اليوم من السنة (n=1 تعني أول جانفي ,n=32 تعني أول فيفري .....الخ) وتتغير هذه الزاوية على مدار السنة حيث تنعدم في الإعتدالين " الربيعي 21 مارس " و" الخريفي 23 سبتمبر " بينما تكون أعظمية عند الانقلاب الشتوي " 23.45- " و الإنقلاب الصيفي " +23.45° "[6].

4-7 زاوية الارتفاع الشمسي h:

هي الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بين نقطة على سطح الأرض ومركز الشمس الأفقي الذي تمر فيه النقطة على الأرض هذه الزاوية تساوي " الصفر عند شروق وعند غروب الشمس و تأخذ القيمة العظمى عند وقت الزوال الشمسي هذه الزاوية مهمة في تحديد كمية الإشعاع الواصل إلى سطح الأرض كما هي مبينة في الشكل (9) وتكتب بالعلاقة التالي [3][7]:

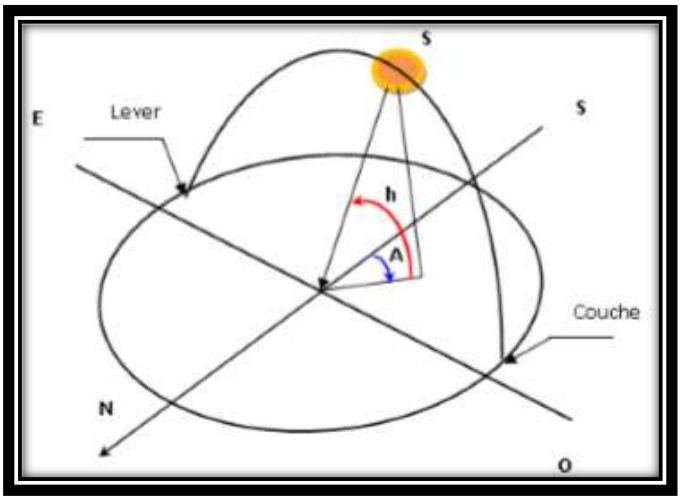
$$\sin(h) = \sin(\varphi).\sin(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)\cos(\omega) \quad (2)$$

$h = 0$: عند شروق وغروب الشمس.

$h < 0$: في الليل.

$h > 0$: في النهار.

ω : زاوية الساعة الشمسية . φ : زاوية العرض . δ: زاوية ميل الشمس.



الشكل(9) : زاوية السمت a و زاوية الإرتفاع h

7-5- زاوية السمت الشمس a :

هي الزاوية المحصورة بين الخط المار في نقطة على سطح الأرض والمتجه جنوبا وبين المسقط الأفقي للخط الواصل بين النقطة والشمس ، هاته الزاوية تكون موجبة إذا كانت متجه نحو الغرب حيث: $a \in [-\pi; +\pi]$ كما يوضحه الشكل (9) و تعطى بالعلاقة التالية [3] [7] :

$$\sin(a) = \frac{\sin(\delta).\sin(\omega)}{\sin(h)} \qquad (3)$$

$\boldsymbol{a = 0}$: مسقط الإشعاع الشمسي منطبق على المحور جنوب.

$\boldsymbol{a < 0}$: مسقط الإشعاع الشمسي منحرف عن المحور جنوب باتجاه الشرق.

$\boldsymbol{a > 0}$: مسقط الإشعاع الشمسي منحرف عن المحور جنوب باتجاه الغرب.

7-6- زاوية الساعة الشمسية ω :

يتم تحديد زاوية الساعة الشمسية عن طريق دوران الأرض حول محورها القطبي، لذلك ترتبط مباشرة بالتوقيت الشمسي الحقيقي وهو المعلم الأساسي الذي يسمح بالحساب الدقيق لإحداثيات الزاوية الشمسية تعطى بالعلاقة التالية [14]:

$$\omega = \frac{360}{24}(RST - 12) \quad (4)$$

RST : الوقت الشمسي الحقيقي.

تكون 0 درجة عند الظهيرة ، ثم تقابل كل ساعة اختلافًا قدره 15 درجة ، لأن فترة دوران الأرض على نفسها تساوي 24 ساعة. يُحسب سلبًا في الصباح عندما تكون الشمس باتجاه الشرق وإيجابا في المساء (وبالتالي دوران 360 درجة في 24 ساعة) [12].

7-7- الأوقات الشمسية المختلفة :

❖ **التوقيت الشمسي الحقيقي RST** :

يتم تعريف الوقت الشمسي الحقيقي من دوران الأرض حول نفسها. لذلك فهي مرتبطة مباشرة بزاوية الساعة. تحدث الأرض دورة كاملة في غضون 24 ساعة ، في الساعة الثانية عشر ظهرًا عندما تكون الشمس في أوجها. وبالتالي يكون لدينا [3]:

$$\mathrm{RST} = 12 + \frac{\omega}{15} \quad (5)$$

❖ **مدة ومعدل ضربة الشمس:**

في سماء صافية وخلال النهار تحت أشعة الشمس S_0 (من شروق الشمس إلى غروبها) ، تتلقى الأرض أقصى قدر من الإشعاع الشمسي. لكن المدة الفعلية لضوء الشمس في يوم عادي أقل من هذه المدة القصوى. يتم إعطاء معدل التشمس وفق المعادلة التالية [3]:

$$\sigma = \frac{S}{S_0} \quad (6)$$

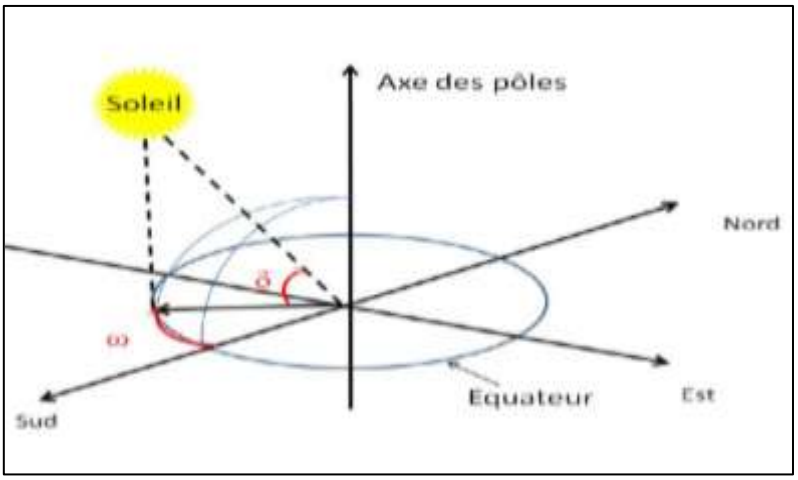
يتم حساب المدة القصوى كما يلي:

$$\mathrm{S_0} = \left(\frac{2}{15}\right) COS^{-1}(-tan\psi tan\delta) \quad (7)$$

مع :

δ: الانحراف.

ψ: موقع مكاني.



الشكل (10): الإحداثيات الساعية[3].

8- نماذج الإشعاع الشمسي :

1-8 الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي :

تبعث الشمس الطاقة على شكل إشعاع كهرومغناطيسي يشكل الإشعاع المنبعث من الشمس طيفًا يتراوح من الأشعة فوق البنفسجية إلى الأشعة تحت الحمراء عبر الطيف المرئي، حيث تصدر أقصى قدر من الطاقة.

يصل الإشعاع الشمسي إلى حافة الغلاف الجوي للأرض بعد السفر عبر الفضاء بحوالي 150.000.000 كم في 8 دقائق. إن تدفق الإشعاع الذي يعترضه مستقبل مستوي عمودي على اتجاه الشمس ينتج عنه إشعاع بترتيب 1367. وهذا ما يُعرف باسم "الثابت الشمسي" [15]. ومع ذلك ، فإن المسافة من الأرض إلى الشمس ليست ثابتة على مدار العام ، مما يؤدي إلى تأرجح الإشعاع خارج كوكب الأرض بنسبة 3٪ [7].

2-8- الإضاءة:

تُحسب الإضاءة خارج كوكب الأرض عند الحد الأعلى خارج الغلاف الجوي ، على مستوى أفقي ، من الثابت الشمسي ومعامل تصحيح المسافة [16]. يعبر عنها بـ W/m^2.

$$I = G_{SC}\left[1 + 0.033\cos\left(n\frac{360}{365}\right)\right](cos\psi.cos\delta.cos\omega + sin\psi.sin\delta) \qquad (7)$$

حيث :

n: رقم اليوم في السنة (n=1 في الأول من جانفي ، ... إلخ)

$\mathbf{G_{SC}}$ **:** الثابت الشمسي. $\mathbf{G_{SC}} = 1367\ W/m^2$

❖ **الإضاءة الساعية:**

بالنسبة لساعة معينة ، تُحسب الطاقة المستلمة على سطح أفقي من خلال المعادلة (8) التالية[3]:

$$I_0 = \frac{12.36}{\pi} G_{sc} \left(1 + 0.033\cos\frac{360n}{365}\right)(\cos\psi\cos\delta(\sin\omega_2 - \sin\omega_1) + (\omega_2 - \omega_1)\sin\psi\sin\delta) \quad (8)$$

حيث يعبر عن I_0 بـ $[w/m^2]$

❖ **الإضاءة اليومية:**

بالنسبة ليوم معين n (من شروق الشمس إلى غروبها). ، يتم الحصول على الطاقة المستلمة على سطح أفقي H وفق المعادلة التالية[11]:

$$H_0 = \frac{24}{\pi} G_{SC}\left[1 + 0.033\cos\left(2\pi\frac{n}{365}\right)\right][\cos\psi\cos\delta\cos\omega_s + \sin\psi\sin\delta] \quad (9)$$

بحيث الزاوية الشمسية تعطى بـ :

$$\omega_s = \cos^{-1}(-1\tan\psi\tan\delta) \quad (10)$$

G_{SC} : الثابت الشمسي w/m^2

δ : انحدار الشمس.

ψ: خط عرض المكان.

n : رقم اليم من السنة ويتم احتسابه اعتبارًا من الأول من جانفي.

8-3- الإشعاع الشمسي في وجود الغلاف الجوي

8-3-1-الإشعاع الشمسي على مستوى أفقي:

على مستوى الأرض ، يتكون الإشعاع الإجمالي الذي يتلقاه من أي سطح مائل من ثلاثة مكونات رئيسية:

8-3-1-1- إشعاع مباشر: تدفق شمسي على شكل أشعة متوازية قادمة من قرص الشمس دون أن يتشتت بفعل الغلاف الجوي. بعد قياسات الساعات (1) لدينا المعادلة الثابتة للإشعاع المباشر[3].

$$S_H = 1367.\mathrm{C(j)}.\sin\left[\mathrm{h(i)}\exp\left[\frac{-\mathrm{T_L}}{0{,}9*9{,}41*\mathrm{M(i)}}\right]\right] \qquad (12)$$

مع:

S_H: التدفق الأفقي المباشر.

C(j): تصحيح المسافة من الأرض إلى الشمس.

h(i): ارتفاع الشمس.

$\mathrm{T_L}$: معامل المشكلة.

M(i): عدد مساحة الكتلة.

8-1-3-2- الإشعاع المنتشر: هذا الجزء من الإشعاع القادم من الشمس ، بعد أن يخضع لانعكاسات متعددة (تشتت) في الغلاف الجوي. بالنسبة للمراقب ، يُعطى الإشعاع المنتشر (D_H) لكل ساعة **i** إحصائيًا بواسطة[3].

$$D_{\mathrm{H}}(\mathrm{i}) = \frac{1367}{3}.C(j) - \sin(\mathrm{h(i)} - 2).\exp\left[-0.5\,log^2\left(\frac{\mathrm{T_L}}{22*\mathrm{M(i)}-0.65}\right)\right] \qquad (13)$$

8-1-3-3- الإشعاع المنعكس: هو الجزء من الإنارة الشمسية المنعكسة عن الأرض ، وهذا الإشعاع يعتمد بشكل مباشر على طبيعة الأرض (سحابة ، رمال ...). يتميز بمعامل خاص بطبيعة الرابط يسمى **ألبيدو** (ع) بحيث:

8-1-3-4- الإشعاع الكلي ϕ_G: تستقبل القطعة من الأرض إشعاعًا كليا ناتجًا عن تراكب الإشعاعات الثلاثة, المباشرة والمنتشرة والمنعكسة[11]:

$$\phi_G = \mathrm{S_H} + \mathrm{D_H} + \mathrm{R_H} \qquad (14)$$

8-2-3- الإشعاع الشمسي على مستوى مائل:

يستقبل السطح المائل بزاوية β بالنسبة إلى السطح الأفقي استطاعة طاقوية موزعة بين الاتجاه المباشر , المنتشر والمنعكس[3].

$$R_b = \frac{S_\beta}{S_H} = \frac{\cos(\varphi - \beta).\cos(\delta).\cos(\omega) + \sin(\delta)}{\cos(\varphi).\cos(\delta).\cos(\omega) + \sin(\varphi).\sin(\delta)} \quad (15)$$

6-3-2-1-الإشعاع المباشر: نظرًا لموقع خط العرض ، يتم تحديد التدفق من خلال:

$\mathbf{R_b}$: تقرير الدفق المباشر.

$\mathbf{S_B}$ التدفق المباشر لمستوى ميل.

$\mathbf{S_H}$: التدفق الأفقي المباشر.

$\boldsymbol{\omega}$: انحراف الشمس.

$\boldsymbol{\delta}$: زاوية ساعة الشمس.

إذن التدفق المباشر للمستوى المائل β يعطى بـ :

$$R_b = \frac{\cos(\varphi-\beta).\cos(\delta).\cos(\omega) + \sin(\varphi-\beta).\sin(\delta)}{\cos(\varphi).\cos(\delta).\cos(\omega)+\sin(\varphi).\sin(\delta)} S_H \quad (16)$$

8-3-2-2-الإشعاع المنتشر: التدفق عند الميل β والموقع الذي تم التقاطه بواسطة سطح موجه للجنوب الشرقي, و يحسب وفقًا المعادلة التالية [3]:

$$D_b = D_h[F(i)\frac{1+cos\beta}{2} + (1 - F(i))\frac{\cos\theta(i)}{\sinh(i)}] \quad (17)$$

حيث:

$$F(i) = 1 - K_T(i).[1 - \frac{S_H}{G_H}] \quad (18)$$

و

$$K_T(i) = \frac{\theta_{GH}(i)}{\theta(i)} \quad (19)$$

K_T**:** معامل صفاء الجو (مؤشر الوضوح)

i: زاوية سقوط الشعاع المباشر بالنسبة للميل.

8-3-2-3- الإشعاع المنعكس: يتناسب جزء التدفق المنعكس من الأرض على السطح المائل مع التدفق الأفقي الكلي[3].

$$R_\beta = \phi_{GH}[\xi.\left(\frac{1-\cos(\beta)}{2}\right)] \quad (20)$$

ϕ_{GH}: التدفق الأفقي الكلي.

ξ: ألبيدو اليابسة.

8-3-2-4- الإشعاع الكلي لسطح مائل : هو تراكب التدفقات المباشرة , المنعكسة والمنتشرة التي تمثل مجموع التدفقات الثلاثة [3]:

$$\phi_{GH} = S_\beta + D_\beta + R_\beta \quad (21)$$

ϕ_{GH}:التدفق الكلي على سطح مستوي

يمكننا حساب التدفق الشمسي الكلي بالعلاقة التالية لمستوى يميل بزاوية β:

$$\phi_{GB} = R.\phi_{GH} \quad (22)$$

R: تقرير التدفق الكلي.

أي :

$$R = \frac{\phi_{GB}}{\phi_{GH}} = \left(1 - \frac{D_H}{\phi_{GH}}\right).R_b + \frac{D_H}{\phi_{GH}}\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + +\xi(\frac{1-\cos\beta}{2}) \quad (23)$$

مع

R_b: تقرير التدفق المباشر

بمعرفة التدفق الكلي ومكونات التدفق للمستوى الأفقي ، يمكننا تحديد التدفق الكلي المائل الذي يتلقاها المستوى[3]:

$$\emptyset_G = R.\emptyset_{GH} \quad (23)$$

9- الخاتمة:

قدم في هذا الفصل مفاهيم أساسية للإشعاع الشمسي باعتبار الشمس أحد مصادر الطاقة البديلة الدائمة التي تمد كوكب الارض بالأشعة كما تعرفنا على تنوعها إلى ثلاث أنواع الأشعة المنتشرة والكلية والمباشر وعباراتها الرياضية، وبغية تحديد كمية الإشعاع الواصل إلى سطح الأرض تعرفنا على مقادير فيزيائية مميزة له من الثابت الشمسي وزوايا الشمسية التي تدخل في الحسابات النظرية لتقدير الإشعاع كما تم التطرق كذالك على أهم العوامل المؤثرة على تدفق الإشعاع.

من هذا المنطلق تعد دراسة الإشعاع الشمسي ضرورية لاختيار أفضل موقع لتثبيت أنظمة تركيز الإشعاع الشمسي من بينها عدسات فرينل , مركز مصفوف الحلقي Ring-Array Concentrator (RAC) .....إلخ . وذلك من أجل استقبال أقصى طاقة وهذا ما سيتم التطرق إليه في الفصل الموالي.

الفصل الثاني : تركيز وتوجيه الإشعاع الشمسي

تركيز و توجيه الإشعاع الشمسي

1- تمهيد

الشمس مصدر هائل للطاقة، هناك قناعة بأن صناعة الطاقة في المستقبل تعتمد على استخدام الطاقة على نطاق واسع، كبديل وحيد للبناء، كبديل طويل المفعول، كعلامة تجارية[7]. تكلفة تطوير قاعدة طاقة جديدة ليست صغيرة على الإطلاق. حيث قام الإنسان بتسخيرها لمصلحته منذ العصور القديمة ، وذلك إما بالطريقة المباشرة في التدفئة والتسخين وتجفيف المحاصيل الزراعية ...الخ [17]، أو بطريقة غير مباشرة، وذلك بتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية أو حرارية باستخدام آليتي التحويل الكهروضوئي و التحويل الحراري باستخدام وسائل متطورة حيث تستخدم ، الخلايا (الألواح) الشمسية لتحويل لإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية، كما تستعمل أيضا لتجميع وتركيز الطاقة الشمسية ثم استغلالها إما بتحويله إلى حرارة أو استعمالها بشكل آخر لاستغلالها في مجالات مختلفة كالإضاءة وتوليد أشعة الليزر ...الخ[8].

2- المركزات الشمسية:

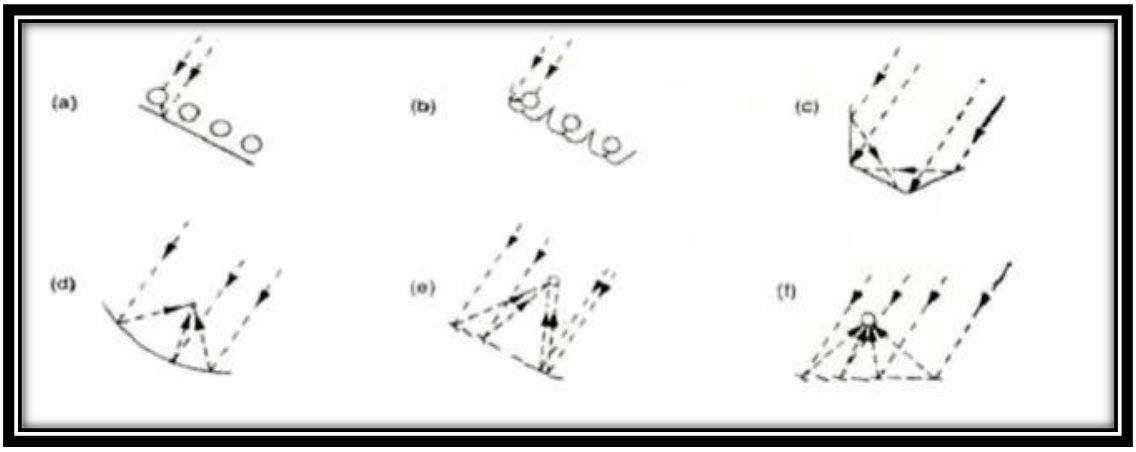
2-1- تعريف المركزات الشمسية:

مركزات الطاقة الشمسية هي أجهزة تعمل على تجميع وتركيز الإشعاع الشمسي لاستغلاله في مجالات متعددة من بينها الليزر.

وتعتبر المجمعات الشمسية المكون الأساسي لأي نظام يعمل على استغلال الطاقة الشمسية، فهي الوسيلة التي يتم تجميع الأشعة الواردة لتركيزها على مستقبل ما [18].

2-2- أشكال المركزات الشمسية:

يوجد العديد من أنواع المركزات يمكنها تركيز تدفق الإشعاع الشمسي على سطح المستقبل تكون المجمعات عاكسة أو كاسرة لأشعة الشمس ، يمكن أن تكون اسطوانية الشكل لتركز الأشعة الشمسية على خط أو على شكل مقطع دائري لتركزها في نقطة. الشكل (1) يوضح أشكال المركزات الشمسية[3].



الشكل (1): أشكال المجمعات [3]

حيث :

(a) و (b) هما مجموعة من الأنابيب المفرغة ذات ماصات اسطوانية وعاكس خلفي لتوجيه الإشعاع إلى الأنابيب الماصة حيث[3] :

(a) :مجمع يستخدم عاكس خلفي مسطح .

(b) : مجمع عاكس بشكل صحن مقعر .

(c) : مجمع يحتوي على مستقبل مسطح وعاكس مسطح الحواف ليعكس الإشعاع الزائد إلى المستقبل .

(d):هو مجمع على شكل قطع مكافئ بحيث يمكن أن يكون لديه مستقبل أنبوبي (سطح أسطواني) أو بمستقبل كروي أو نصف كروي (سطح انقلاب).

(e): مجمع عاكس فرينل وهو مجموعة من العاكسات المتحركة.

(f): مجمع المستقبل المركزي يتكون من مجموعة من مرايا بمستقبل وسطي.

2-3- أنواع المركزات الشمسية:

يمكن تصنيف المركزات الشمسية إلى صنفين , مركزات خطي وأخرى نقطية ، حيث تتركز الأشعة الساقطة على العاكس في خط ويسمى المحور البؤري أوفي نقطة وتسمى البؤرة [13].

وسنعتمد في هذه الدراسة على مجمع نقطي من أجل تركيز الإشعاع في بؤرة, ويتمثل في مركز مصفوف الحلقي The Ring-Array Concentrator (RAC)

2-3-1- المركزات النقطية :

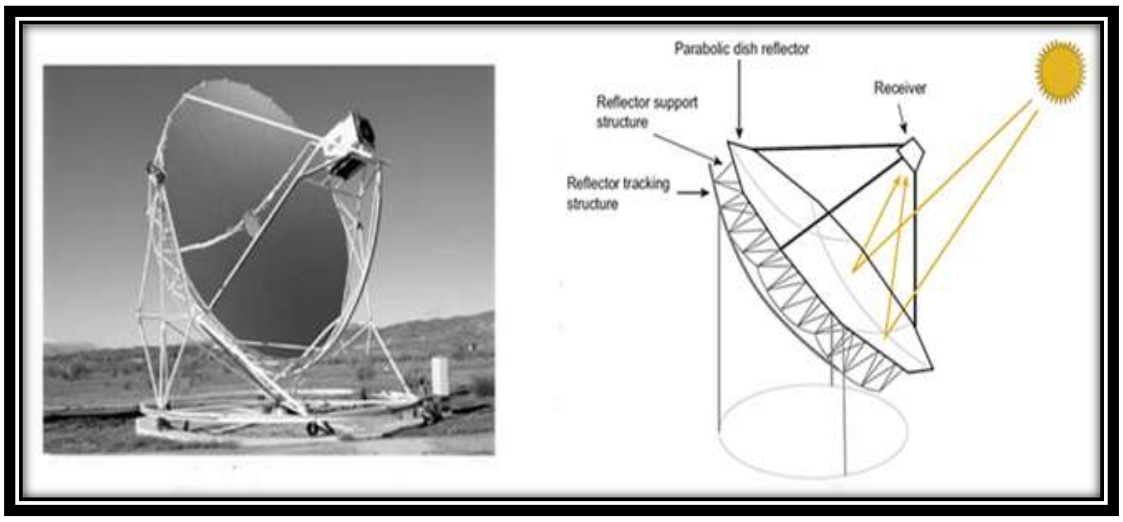
المركزات الشمسية النقطية هي سطوح عاكسة مقعرة, تعمل على تركيز الإشعاع الشمسي في نقطة وتسمى البؤرة، و هي عدة أنواع نذكر منها [12]:

- مركز القطع مكافئ
- عدسات فرينل
- مركز مصفوف حلقي Ring-Array Concentrator [19].

أ- مركز القطع المكافئ :

يسمى هذا المجمع أيضا بمجمع نقطة التركيز لأنه يركز الأشعة الشمسية على مستقبل نقطي يقع عند بؤرة الصحن العاكس [20].

حيث يتبع المركز الشمس في محورين ليعكس الإشعاع إلى المستقبل الذي يعمل على امتصاص الإشعاع الشمسي ثم تركيزه وتحويله إلى طاقة حرارية . كما في الشكل (2)



الشكل (2): مجمع القطع مكافئ [21]

ب- عدسات فرينل:

عدسات فرينل هي عدسات محدبة السطح أو مقعرة، على شكل قرص رقيق .

إن استعمال عدسة فرينل كمركز شمسي راجع للمزايا التالية :

- يمكن أن تصمم بأحجام كبيرة و وزن خفيف و بسمك أقل من 4 mm وهكذا تكون تكلفتها منخفضة.

- ضوؤها الخفيف يسمح باستخدام رقائق بقطر أكبر والتي تجمع كمية كبيرة من الضوء.

- لها بعد بؤري صغير، وتصميمها يصحح الانحراف الكروي ويسمح بإنارة متماثلة [22].

ج- مركز مصفوف الحلقي:

مركز مصفوف حلقي (RAC)هو تصميم يقوم بتركيز الإشعاع الشمسي ,عبارة عن مجموعة من الحلقات بمقاسات مختلفة و محددة.

-الميزة الرئيسية لهذا المركز هي أنه يسمح بإزالة منطقة الظل بين الإشعاع الشمسي الوارد والمنطقة البؤرية مقارنةً بالتصاميم الأخرى.

- نسبة تركيزه كبيرة مقارنة بالمركزات الأخرى بسبب عدم وجود منطقة الظل[23][24].

يحتوي هذا المركز على عدة حلقات كما هو مبين في الشكلين (3-a) و (3-b)

الشكل (3-a) : حلقات مركز مصفوف الحلقي[23]

الشكل (3-b) : مركز مصفوف الحلقي RAC بعد التجميع[23]

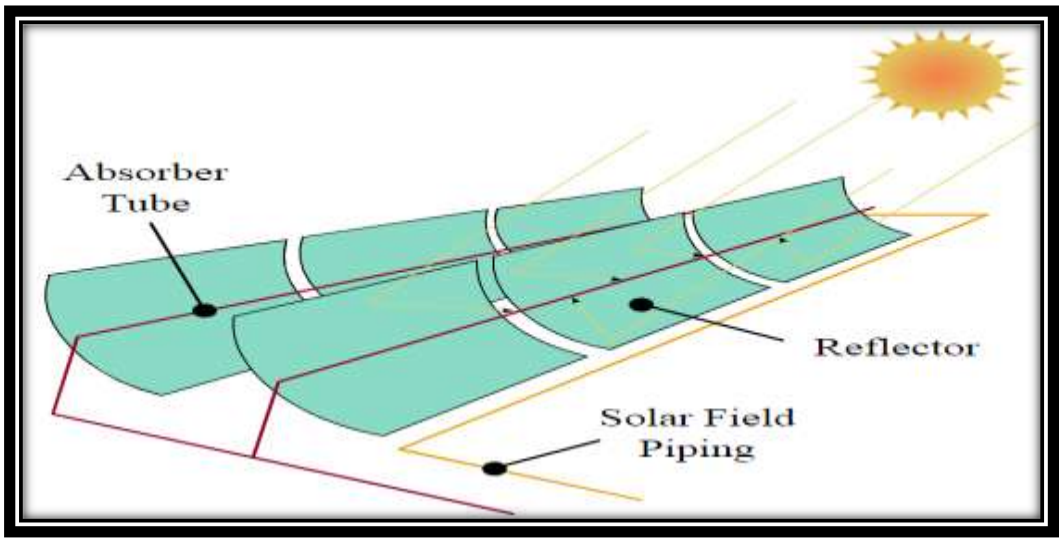
2-3-2- مركزات خطية:

يتميز هذا النوع من المركزات باستخدامه في درجات الحرارة المنخفضة ، تستخدم السطوح الاسطوانية ويتمثل في:

2-3-2-1- حوض القطع المكافئ:

مجمع الحوض المكافئ هو مجمع أسطواني على شكل حرف U له مقطع عرضي على شكل قطع مكافئ [32]، مكون من مرايا ومستقبلات حرارة و هيكل معدني للتثبيت تتشكل فيه المرايا ذات القطع المكافئ من ألواح من مادة عاكسة من الزجاج شفاف مطلي بالفضة ، هذا الزجاج المطلي للعاكسات له إمكانية تركيز الإشعاع الشمسي إلى 80 ضعف مرة والغرض منها هو تركيز ضوء الشمس إلى أنبوب استقبال مركزي على خط محور المجمع تكون مصفوفة المجمعات حوالي 100m طول أو أكثر و بفتحة منحني من 5 m إلى 6m [25].

تكون الكفاءة الكلية حوالي15% في المتوسط بينما تصل إلى 28% في الحالات المثالية ، وهي تستخدم تركيبة ميكانيكية كمتعقب أحادي المحور لتوجيه كل من المجمعات الشمسية و مستقبلات الحرارة في اتجاه الشمس عند تحركها من الشرق إلى الغرب بغية تجميع أقصى طاقة شمسية[25].

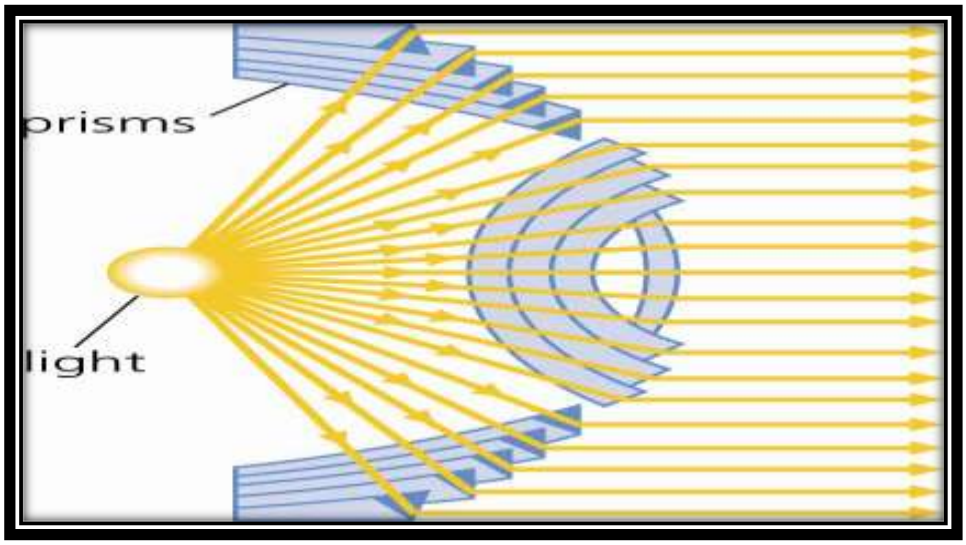


الشكل(4): حوض القطع المكافئ[21]

2-3-2-2- نظام فرينل الخطي :

يتكون نظام فرينل الخطي من مرايا صغيرة طويلة (والتي يمكن أن تكون على شكل منحني) ذات سطح ناعم وآخر خشن، توضع على مستوى واحد و يمكنها أن تدور تبعا لمسار الشمس لإعادة توجيه و تركيز مستمر لأشعتها إلى أنبوب المستقبل الخطي الثابت, أي تعمل على عكس أشعة الشمس على مستقبل امتصاص أنبوبي مركب في صندوق المرايا، ولتحسين التقاط ضوء الشمس يتم تركيب عاكس ثاني أعلى

أنابيب المستقبل بعدة أمتار والذي يعرف بالعاكس الثانوي [25]، كما توجد عاكسات فرينل ذات التركيز النقطي والمبينة في الشكل(5):



الشكل (5): عدسة فرينل العاكسة [19] .

2-4- مبدأ عمل المركزات الشمسية:

يقوم مبدأ عمل أي مركز شمسي على مبدأ انعكاس الضوء لستال ديكارت، والذي ينقسم إلى:

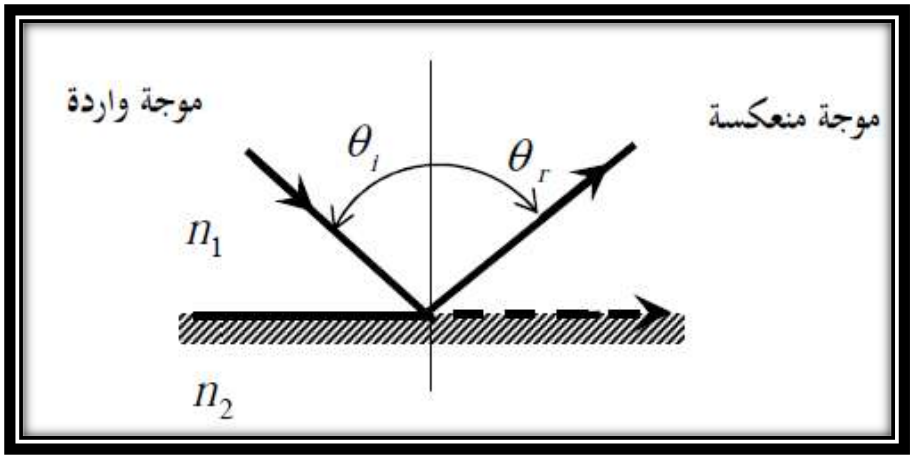
- **انعكاس مباشر:** وهو الضوء الذي ينعكس من اتجاه مخرج أحادي وطبقا لقانون الانعكاس فإن كل من اتجاه المدخل الأحادي واتجاه المخرج الأحادي يكون لهما نفس الزاوية بالنسبة للسطح العادي للمرآة [26].
- **انعكاس متشتت**: وفيه ينعكس الضوء في مدى اتجاه واسع ،حيث في التطبيقات يؤخذ في الاعتبار فقط الانعكاس المباشر لأن الشعاع المنعكس يجب أن يكون له اتجاه محدد و يكون معيار جودة المرايا موزون للشمس ,كما يوضحه الشكل (6):

$$\theta_i = \theta_r \qquad (1)$$

θ_i: زاوية الورود.

θ_r: زاوية الانعكاس

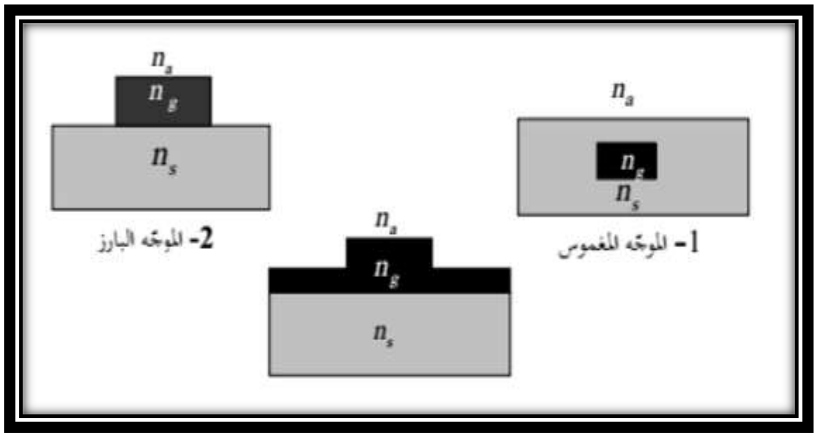
.



الشكل (6): رسم تخطيطي لظاهرة الانعكاس[25].

3- الموجهات الضوئية:

3-1- تعريف الموجهات الضوئية: هي عبارة عن أنظمة عازلة كهربائيا ، تستعمل لاحتباس الموجة الضوئية وتحديد مسارها، ومنها موجهات مستوية وموجهات ثلاثية الأبعاد [7][25] وبعض هذه الأخيرة موضحة في الشكل (7):



الشكل (7): أنواع قنوات الموجه الضوئي[25]

وتنقسم الموجهات الضوئية من حيث قرينة الانكسار إلى نوعين:

- **موجه ضوئي ذات قرينة انكسار ثابتة** حيث لا تتغير قرينة انكساره بالنسبة للاتجاه العرضي لانتشار الموجة الضوئية.
- **موجه ضوئي ذات قرينة انكسار متغيرة** تكون قرينة انكساره متغيرة بالنسبة للاتجاه العرضي للانتشار وهذا راجع لتغير خواصه من نقطة إلى أخرى.

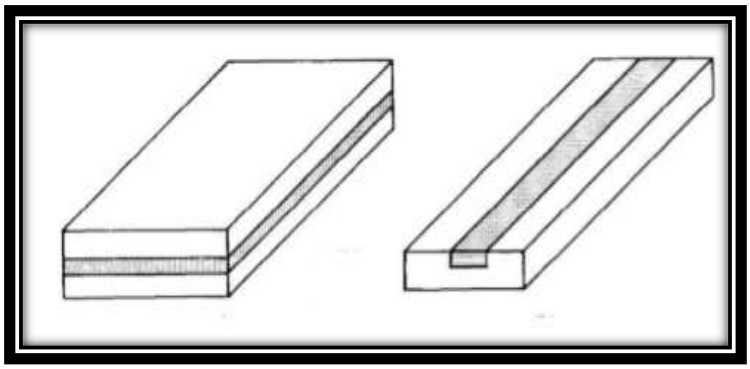
2-3- أنواع الموجهات الضوئية:

من بين موجهات الأمواج المعروفة[26]:

- موجهات مستوية.
- موجهات دائرية.

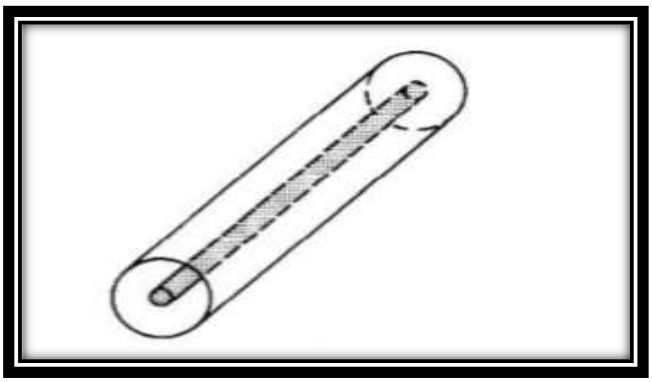
3-2-1- موجهات مستوية (دليل موجي):

الموجهات المستوية هي عبارة عن مادة من الزجاج ذات شكل مستوي أين تنتشر الأضواء بداخله.كما هو موضح في الشكل (8) [26]:



الشكل (8): موجهات ضوئية مستوية[26]

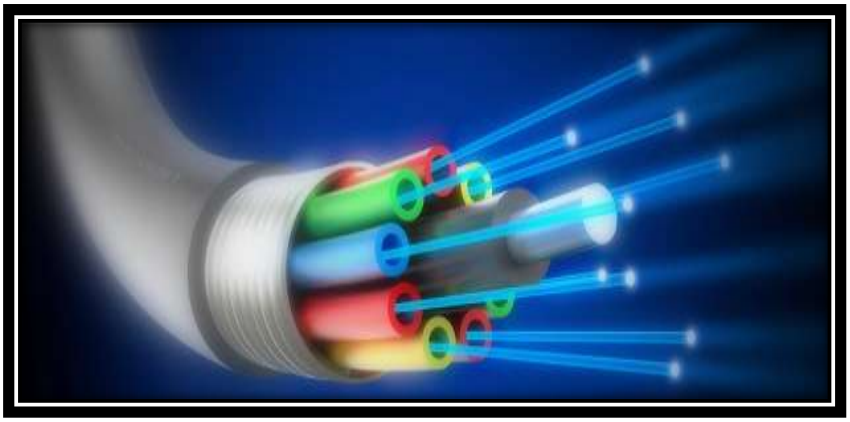
3-2-2- موجهات دائرية: و هي عبارة عن نواقل ذات مقطع دائري، وتعتبر الألياف البصرية أحد هذه الموجهات الدائرية.



الشكل (9): موجهات ضوئية دائرية[26]

4- الألياف البصرية :

الليف البصري عبارة عن أسلاك شفافة رقيقة بسمك الشعرة أو أقل مصنوعة من الزجاج أو البوليمرات, و يتكون الليف البصري من اسطوانتين مختلفتين في قرينة الانكسار و متحدتين في المحور, مكونان بذلك شعيرة رقيقة ذات طبقتين لها القدرة على تمرير الضوء خلالها لمسافات طويلة جدا بسرعة الضوء وبكميات قليلة جدا من الفقد أي بكفاءة عالية جدا, وكل منها محاط بغلاف أو أكثر من المطاط و مواد أخرى تعمل معا لحماية الليف البصري من التلف و وغيرها من الأضرار[17].

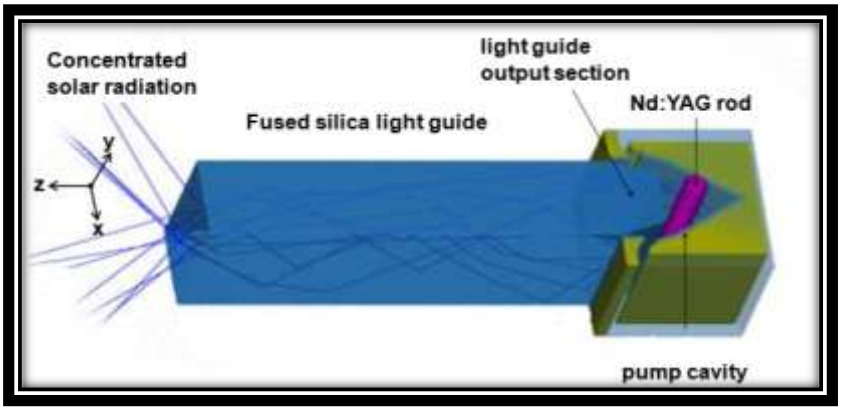


الشكل (10): الليف البصري[43]

5- الدليل الموجي البصري:

هو هيكل "يوجه" الموجة الضوئية عن طريق تقييدها للانتقال على طول مسار معين.أي نقل الأشعة المركزة من نقطة التركيز إلى الوسط الفعال، حيث تخضع الأشعة داخله لمبدأ الانعكاس الكلي[13].

لتوجيه الإشعاع الشمسي من بؤرة المركز الشمسي الى الوسط الفعال نستعمل الدليل الموجي الذي يعتمد على مبدأ الانعكاس الكلي للضوء بداخله. بحيث ،يحدد شكل الموجه طريقة نشر الإشعاع الشمسي المركز والمنقولة بواسطته على المستقبل يمكن أن تنتشر هذه الأضواء على محيط المستقبل أو على نهايتيه.كما هو موضح في الشكل (11):



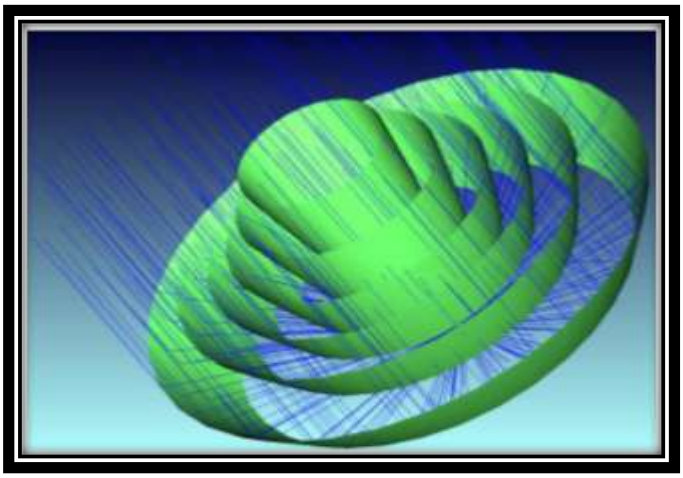
الشكل (11): توجيه الإشعاع المركز بواسطة دليل ضوئي نحو الوسط الفعال[21]

6- دراسة نظرية لمركز مصفوف حلقي RAC

6-1- مركز مصفوف حلقي RAC:

مركز مصفوف الحلقي عبارة عن مجموعة من حلقات نصف مخروطية كما هو موضح في الشكل (12).

تم تقديم المفهوم الأول لنظام RAC في عام 2002 بواسطة الباحث Vasylyev و اخرين.



الشكل(12) : مركز مصفوف حلقي RAC [28]

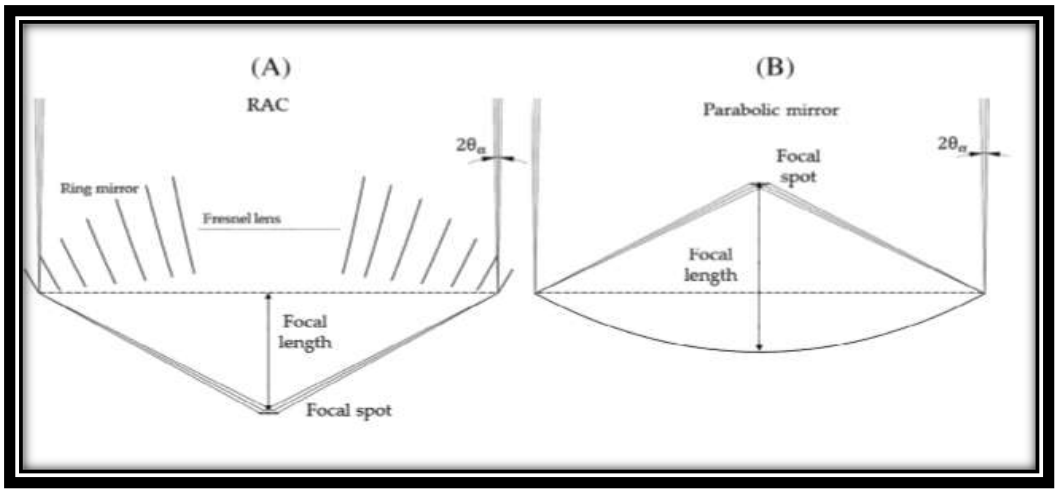
6-2- لماذا إخترنا مركز مصفوف الحلقي RAC:

يسمح هذا التصميم بإزالة منطقة الظل بين الأشعة الشمسية الواردة والمنطقة البؤرية مقارنة بنظام المرآة المكافئة لظل الشمس. وبالتالي ، يمكن تحقيق تركيز أكثر كفاءة للطاقة الشمسية في المركز.

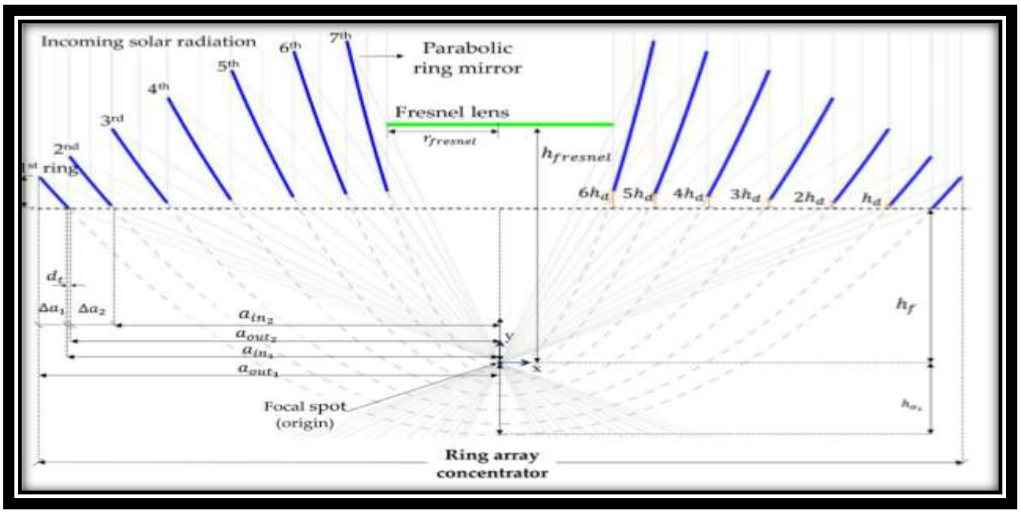
يمكن للمركز RAC أيضًا تجنب تشتت طيف الإشعاع الشمسي على طول المنطقة البؤرية ، مما يوفر كفاءة أعلى في تجميع الطاقة الشمسية مقارنةً بالمركزات أخرى[21].

3-6- منهجية تصميم مركز مصفوف الحلقي RAC :

يستخدم RAC كلاً من آليات الانعكاس والانكسار للأشعة الشمسية الساقطة عبر سطح قسم المرآة الحلقية المكافئة وعدسة فرينل ، على التوالي. ويرد في الشكل(13). التصميم التخطيطي لـ RAC من سبع حلقات. تم تحديد حجم كل قسم حلقة مرآة مكافئ رياضيًا ووضعه بحيث لا يحدث أي عائق لمسار الضوء. ساعدت عدسة فرينل في تركيز الأشعة الشمسية المركزية المتبقية باتجاه النقطة البؤرية[19].



الشكل (13) : (A) مركز مصفوفة الحلقة (RAC) ذو سبع حلقات و (B) المرآة المكافئة للفرن الشمسي متوسط الحجم[19]



الشكل(14) : مخطط لحلقات مركز RAC ذو سبع حلقات[19]

الحلقة المكافئة هي جزء من سطح شبه كروي مكافئ. تُظهر المعادلة (2) معادلة الإنحناء لسطح شبه كروي هندسي عام **(z)** ، حيث c هو انحناء السطح ، و a هو الإحداثي الشعاعي أو الفتحة و α هو معامل شبه كروي . في هذه الدراسة ، تم تعيين الانحناء الثابت k على(1-) بسبب التكوين المكافئ النقي ، و c هو معكوس نصف قطر الانحناء بحيث [19]:

$$c = \frac{1}{RoC} \tag{1}$$

$$Z = \frac{c*a^2}{1+\sqrt{1-(1+k)c^2a^2}} + \sum_{I=1}^{M} a_i a^i = \frac{a^2}{2RoC} \tag{2}$$

بالنظر إلى n كرقم فهرس الحلقة $n \in [1, N]$ ، حيث N هو العدد الأقصى المطلوب من الحلقات داخل RAC ، تحدد المعادلة (3) نصف قطر الانحناء (RoC_n) لحلقة nمعينة مع الطول البؤري (h_f) ، الفتحة الداخلية (a_{in_n}) ، ومعدل ارتفاع الحلقة (h_d).

$$RoC = \sqrt{(h_f + (n-1)h_d)^2 - {a_{in_n}}^2} - (h_f + (n-1)h_d) \tag{3}$$

-المقدار h_d هو تغيرالوضع الرأسي لكل حلقة. هذا المقدار مهم لتحسين تكوين RAC للأداء المقصود . حيث(h_d=0مم). ومع ذلك يزداد الوضع الرأسي لكل حلقة داخلية خطيًا وفقًا لرقم الحلقة[19]:

$(h_f(n-1) + h_d)$، بحيث الحلقة الأولى (n = 1) تبدأ دائمًا بطولها البؤري عند h_f.

- يعتمد نموذج RAC بأكمله على المقادير الأولية للحلقة الأولى. يوضح الشكل(4) إجراء تنفيذ الحلقة الأولى في الفضاء الديكارتي.

-يتمثل الإجراء الأولي لنمذجة RAC في تحديد الفتحة الشعاعية الأبعد للحلقة الأولى (a_{out_1}) ، والتي تحدد أيضًا الحجم الأقصى لـ RAC. بعد ذلك ، يتم تحديد حجم الحلقة الأولى ، Δa_1 ، وهو عرض الحلقة الأولى.

يتم تعريف Δa_1 على أنه منتج قابل للتطوير, يتغير وفقًا لحجم نموذج RAC ، كما هو موضح في المعادلة (4) [19].

$$\Delta a_1 = d_W \frac{a_{out_1}}{R} \tag{4}$$

d_W هو متغير عرض الحلقة الأولي ؛ الثابت R هو نصف قطر قاعدة RAC ، والذي يعتبر (1000 مم) في هذه الدراسة. يتغير الإخراج Δa_1 مع d_W و a_{out_1}. على سبيل المثال ، إذا كانت قيمة a_{out_1} تساوي 1000 مم ، فإن قيمة Δa_1 ستكون لها نفس قيمة d_W. ومع ذلك ، إذا كانت a_{out_1} تساوي 2000 مم ، فإن a_1 ستكون ضعف قيمة d ، كما هو مبين في الجدول 1. وتضمن هذه المعادلة قابلية التوسع الخطية لأي حجم RAC فيما يتعلق بنصف قطر(مم1000) قاعدة RAC . مع كل من a_{out_1} و a_1 ، يمكن العثور على الفتحة الشعاعية الداخلية (a_{in_n}) عن طريق طرح عرض الحلقة من الفتحة الشعاعية الخارجية ، كما هو موضح في المعادلة (5)[19].

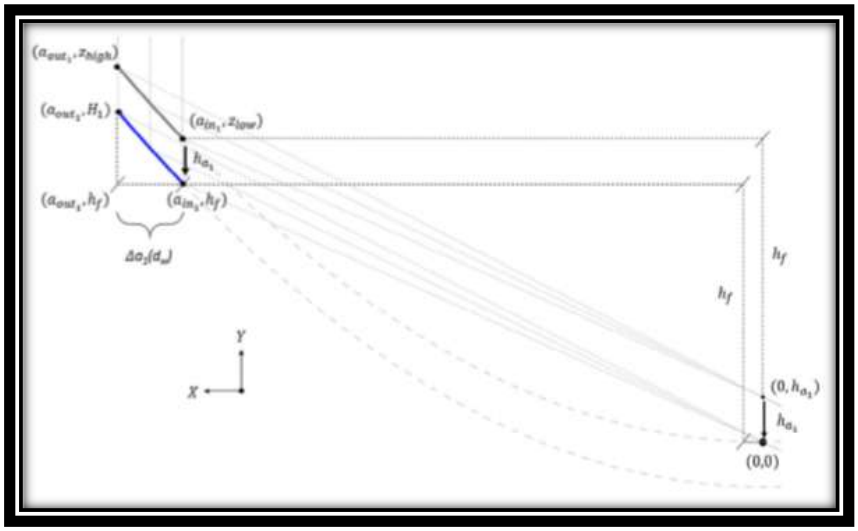
$$a_{in_1} = a_{out_1} - \Delta a_1 \qquad (5)$$

يمكن تصميم مقطع الحلقة المكافئة من الفتحات الشعاعية الخارجية والداخلية في المعادلة 1. في هذه الحالة ، سيتم وضع رأس الترهل المكافئ الافتراضي على نقطة الأصل (0 ، 0) ، ونقطة محورية عند $(0 ، h_{a_n})$ ، كما هو موضح في الشكل 4 بواسطة خطوط الترهل الرمادية الصلبة والمتقطعة.

يتم استخدام h_{a_n} لتصحيح موضع أي حلقة n في المحور الرأسي ، كما هو موضح في الشكل (14). وهذا يضمن تركيز كل حلقة عند نقطة الأصل. يتم تمثيل موضع المرآة الحلقية المصححة بخط الترهل الأزرق الصلب (الشكل 4). h_{a_n}هو نصف نصف قطر انحناء الحلقة ، كما هو موضح في المعادلة (6)[19].

$$h_{a_n} = \frac{RoC_n}{2} \qquad (6)$$

ثم يتم تحديد الحلقة الأولى بإحداثيات خط الترهل الأزرق ، بدءًا من $(a_{out_1}; H_1)$ وتنتهي عند $(a_{out_1}; h_f)$.

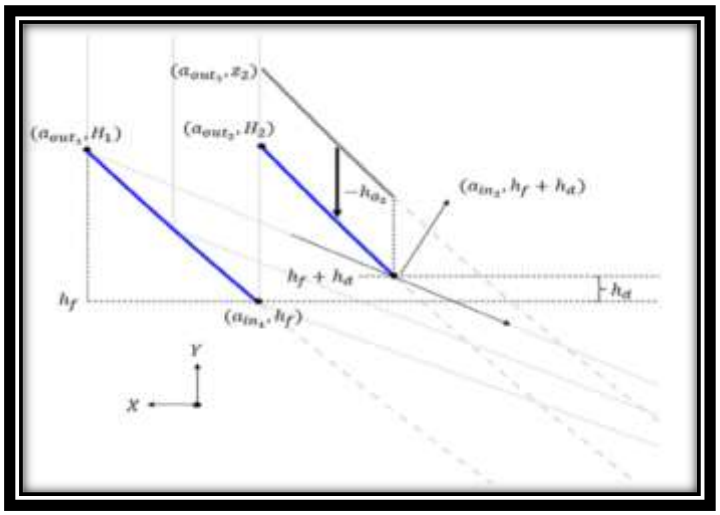


الشكل (15) : تحديد مواقع الحلقة المكافئة الأولى[19]

H_nهو ارتفاع الحلقة المعطاة بواسطة المعادلة (7)[19].

$$H_n = Z_n - h_{a_n} \quad (7)$$

بالنسبة للحلقة الثانية والحلقات المتعاقبة الأخرى ، يظهر تسلسل النمذجة في الشكل (14).



الشكل (16) : تحديد موقع الحلقة المكافئة الثانية[19]

يتم العثور على الفتحة الشعاعية الخارجية للحلقة التالية $(\mathrm{a_{out_n}})$ عن طريق طرح سماكة الحلقة (d_t) من الفتحة الشعاعية الداخلية للحلقة السابقة $(a_{\mathrm{in_{n-1}}})$ ، كما هو موضح في المعادلة (8) والممثلة في الشكل (14). وهذا يضمن سمك الحلقة المادية داخل نموذج RAC[19].

$$\mathrm{a_{out_n}} = a_{\mathrm{in_{n-1}}} - d_t \quad (8)$$

لإكمال الحلقة التالية ، يمكن العثور على الفتحة الشعاعية الداخلية ($a_{\mathrm{in_n}}$) عند تقاطع شعاع الضوء المنعكس من أعلى الحلقة السابقة عند($\mathrm{a_{out_n}}; H_{n-1}$)مع البعد البؤري للحلقة التالية عند ($XX; \mathrm{h}_f + \mathrm{h}_d$) ، كما هو موضح في المعادلة (9) [19].

$$a_{\mathrm{in_n}} = \frac{\mathrm{h}_f + (\mathrm{n}-1)\mathrm{h}_d}{\frac{H_{n-1}}{a_{\mathrm{in_{n-1}}}}} - d_t \quad (9)$$

مع تحديد كل من الفتحة الشعاعية الخارجية والداخلية ، من الممكن صياغة الحلقة المكافئة الافتراضية ، كما هو موضح في الشكل(15) من خلال المعادلة (2). ثم يمكن العثور على مقطع الحلقة المكافئة RAC مع موضع ارتفاع الحلقة الرأسي المصحح ، المعطى بواسطة h_{a_n} من المعادلة (6) ، مما يضمن التركيز عند الأصل [19].

يتم تصميم الحلقات الداخلية التالية بنفس الإجراء ، حتى يتم إكمال العدد المطلوب من الحلقات. الفتحة الداخلية للحلقة الأخيرة (الحلقة الأعمق من RAC) ، $a_{\mathrm{in_N}}$. ، تترك "ثقبًا" في منتصف المركز. يتم استخدام عدسة فرينل لإكمال المساحة المتبقية. يتم تمثيل نصف قطرها بـ r_{fres} في المعادلة (10) [19].

$$r_{fres} = a_{\mathrm{in_N}} \quad (10)$$

يُعطى ارتفاع عدسة فرينل ، h_{fres} ، من خلال ناتج اعتراض شعاع الضوء المنعكس من أعلى الحلقة الأخيرة($\mathrm{a_{out_N}}; H_{n-1}$) إلى نقطة الأصل مع موضع الفتحة الداخلية للحلقة الأخيرة ($a_{\mathrm{in_N}}$; yy) ، كما هو موضح في المعادلة (11)[19]:

$$h_{fres} = \frac{H_N}{\mathrm{a_{out_N}}} a_{\mathrm{in_N}} \quad (11)$$

7- الخاتمة:

تم في الفصل الثاني التطرق إلى المركزات الشمسية النقطية بنوعيها الثلاث المركز الشمسي ذو القطع المكافئ وعدسة فرينل ومركز مصفوف الحلقي RAC، ومن أجل الحصول على أكبر قدر ممكن من الأشعة الشمسية المركزة تم اختيار مركز مصفوف الحلقي RAC لأن لهذا التصميم ميزة رئيسية تسمح بإزالة منطقة الظل بين الإشعاع الشمسي الوارد والمنطقة البؤرية مقارنةً بالأنظمة الأخرى.

ولأنه يسمح بمعامل تركيز مرتفع مقارنة بالمركزات الآخرى ، ولتوجيه هذه الأشعة المركزة وتسليطها على الوسط الفعال نستعمل الدليل الموجي الذي يعتمد على مبدأ الانعكاس الكلي .

الفصل الثالث : الليزر و الليزر الشمسي

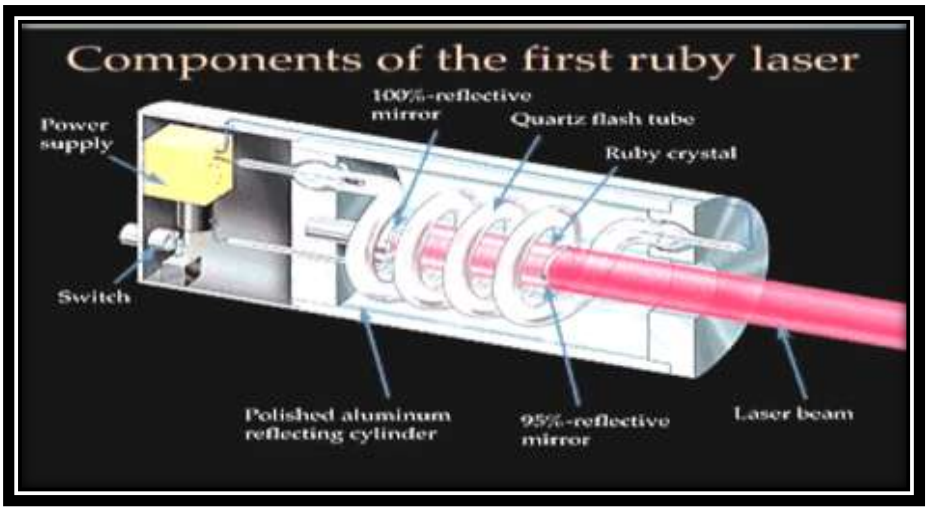
الليزر و الليزر الشمسي

1- تمهيد :

الليزر هو ضوء يمتلك العديد من المميزات جعلته منذ اكتشافه سنة 1960م يحدث ثورة كبيرة في علم التكنولوجيا. كما توجد عدة أنواع من أجهزة الليزر المتاحة اليوم تعمل على أطوال موجية مختلفة وتستخدم في العديد من المجالات، مثل نقل المعلومات (الاتصالات عبر الألياف الضوئية.....) ,الطب (طب العيون والأسنان ....) والصناعة (تلحيم وقطع المواد....) [29]. وبما أن الطاقة الشمسية تعد هي المصدر الرئيسي المجاني و الوفير و المتجدد و الدائم ، الذي يمكن استغلالها في عملية الضخ لتوليد أشعة الليزر كبديل للضوء العادي[19]. لذلك سنقدم في هذا الفصل فكرة عامة عن شعاع الليزر و مكونات جهاز الليزر و أهم المعادلات الرياضية لتفاعل مادة-إشعاع.

2- نبذة تاريخية:

سنة 1917م أعطى آينشتاين الأساس النظري للانبعاث المحفز للإشعاع[29]. وفي عام 1960م أنتج أول ليزر (ليزر الياقوت) من قبل العالم ميمان (Maiman) بالضخ الضوئي لبلورات الياقوت الاصطناعي بإستعمال مصباح وامض مولدا إشعاع ليزر أحمر نابض بطول موجي 694nm [30]، كما هو موضح في الشكل (1). وفي عام 1963م لحقها ابتكار ليزرات كيماوية[29]. فتوالت تطورات البحث العلمي في مجال الليزر وأصبح التركيز على الأقل تكلفة والأنجع. فقد تم استخدام الطاقة الشمسية كوسيلة ضخ لتوليد الليزر الشمسي 1966م [30].



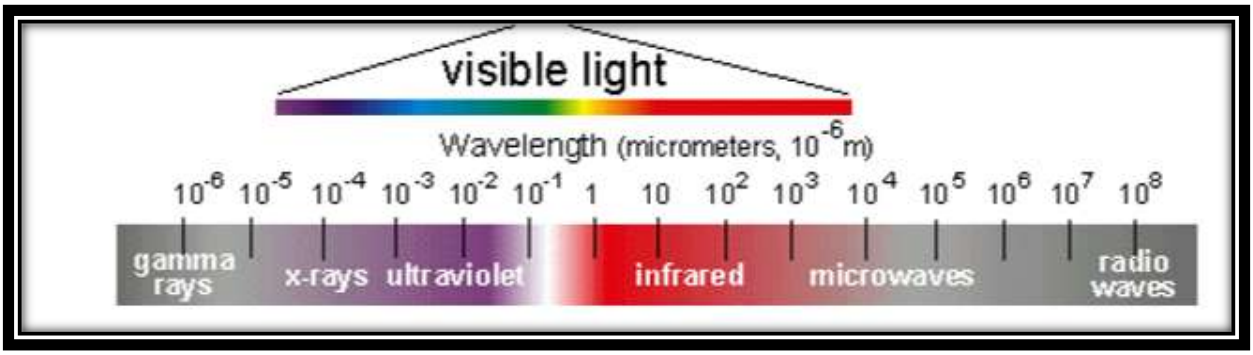
الشكل (1): تصميم أول ليزر ياقوت[43]

3- تعريف الليزر LASER:

هي إختصار للجملة اللاتنية

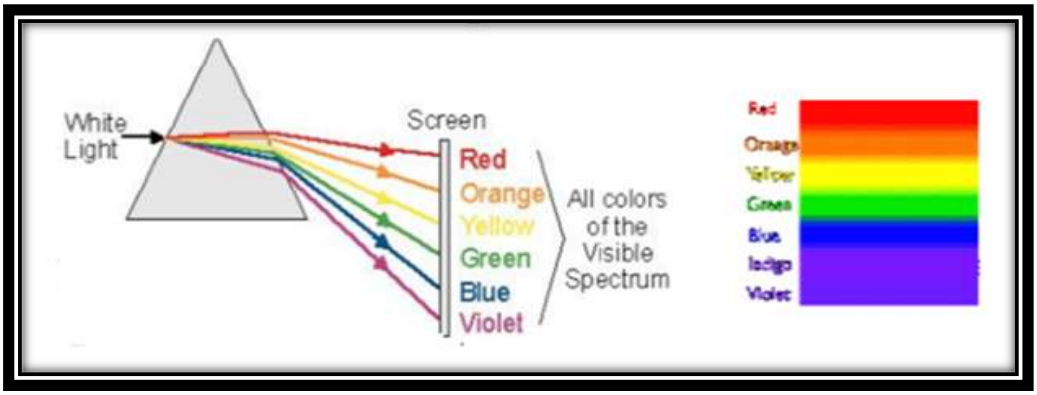
Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

تعني " تضخيم الضوء بانبعاث الإشعاع المحفز " وهو عبارة عن حزمة ضوئية ذات **فوتونات** تشترك في ترددها وتتطابق موجاتها بحيث تحدث ظاهرة **التداخل البناء** بين موجاتها لتتحول إلى نبضة ضوئية ذات طاقة عالية . بينما يشع المصدر الضوئي العادي موجات ضوئية مبعثرة غير منتظمة فلا يكون لها قوة الليزر. وباستخدام بلورات لمواد مناسبة (مثل الياقوت الأحمر) عالية النقاوة يمكن تحفيز انتاجها لأشعة ضوئية من لون واحد وعند تطابقها مع بعضها وانعكاسها ، أي ذو طول موجة واحدة وكذلك في طور موجي واحد عدة مرات بين مرآتين داخل بلورة الليزر فتنتظم الموجات وتتداخل وتخرج من الجهاز بالطاقة الكبيرة المرغوب فيها , ولمعرفة الليزر يجب في الواقع التعرف على الطيف الكهرومغناطيسي والذي يبدأ من موجات الراديو الطويلة إلى الموجات القصيرة لأشعة جاما عالية الطاقة[31]. كما هو موضح في الشكل (2):



الشكل(2) الطيف الكهرومغناطيسي[32]

وكما هو معروف فإن المنطقة الضيقة من الطيف، والمعروفة لنا بالمرئية أو الضوء الأبيض . تتكون من الألوان الضوئية التالية : أصفر ، برتقالي ، أحمر وبنفسجي ، أزرق ، أخضر . كما هو موضح في الشكل(3) :



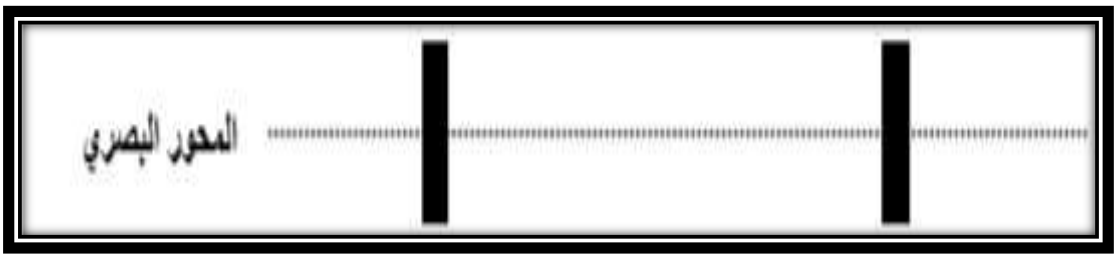
الشكل(3): ألوان الطيف الكهرومغناطيسي.[32]

كما أن ترددات هذه الإشعاعات وأطوالها الموجبة مختلفة ومضطربة فهي أشبه بالضوضاء بمقارنتها مع الموجات الصوتية ، بينما نجد أن ضوء أشعة الليزر منظم ومركز. الليزر ينتج حزمة ضوئية رفيعة جدا وقوية. فبعض الأحزمة على سبيل المثال تستطيع إختراق الماس ، وهو أصلب مادة في الطبيعة ، وبعضها تستطيع إحداث تفاعل نووي صغير. ويمكن أيضا نقل حزمة الليزر إلى مسافات بعيدة دون أن تفقد قوتها وهذا يقودنا لدراسة خصائص شعاع الليزر , مهما كانت مادته أو منطقة طيفه.

4- مفاهيم أساسية :

4-1- الفوتون: هو مقدار الطاقة الضوئية في الموجة الكهرومغناطيسية ويمتلك تردد وطول موجي خاص بها [33].

4-2- المحور البصري: هو الخط المستقيم الواصل ما بين عنصريين بصريين كما في الشكل(4):



الشكل(4) : المحور البصري

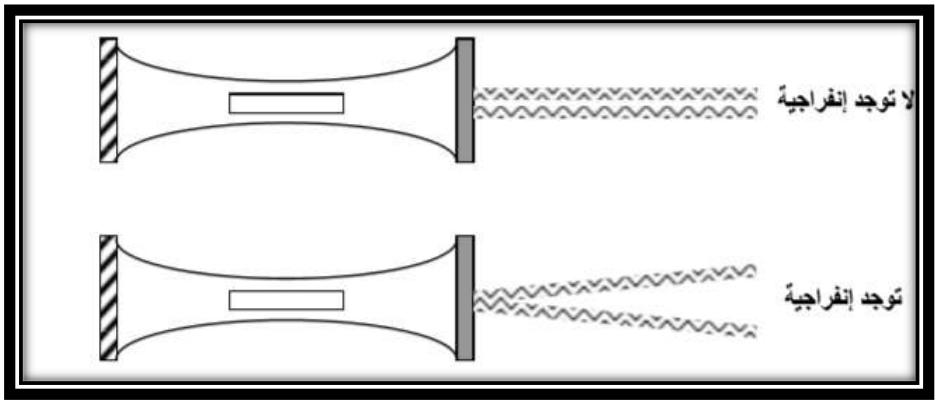
3-4 الطور: هو حالة الموجة الكهرومغناطيسية عند نقطة معينة في الفضاء ولحظة زمنية معينة.

4-4- التداخل: هو حالة وجود موجتين كهرومغناطيسيتين (أو أكثر) على مسار بصري واحد مع وجود أو عدم وجود فرق بالطور بين الموجتين.

6-4 التداخل الهدام :هو التداخل الذي يوجد فيه فرق بالطور بين الموجتين حيث تقوم إحدى الموجتين بإضعاف الموجة الثانية أو إلغائها تماما. وهذا التداخل يضر بالليزر

7-4 المرنان : هو منظومة مكونة من مرآتين على محور بصري مشترك حيث تنتقل فوتونات الليزر بين المرآتين ذهابا وإيابا من أجل تضخيمها. تكون إحدى هاتين المرآتين ذات انعكاسية تامة (الخلفية) والمرآة الأخرى تكون ذات انعكاسية جزئية (الأمامية) [34].

8-4 الإنفراجية : هي مقدار انحراف شعاع الليزر عن المحور البصري عند انتقاله خارج المرنان ، وكما في الشكل الآتي حيث أن الشعاع الأول ليس لديه إنفراجية بينما الشعاع الثاني لديه إنفراجية واضحة عن المحور البصري كما هو موضح في الشكل (5) [35].



الشكل(5) : انفراجية الشعاع العادي وشعاع الليزر

1-8-4- الأنماط الطولية:

هي توزيعات المجال الكهرومغناطيسي لموجة الليزر بشكل موازي للمحور البصري للمرنان[35].

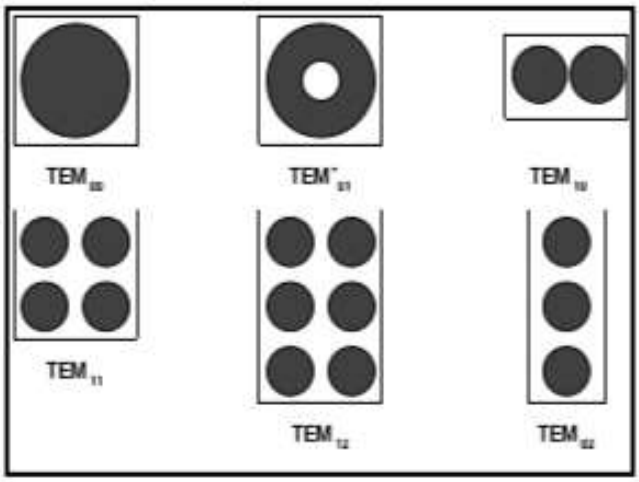
يتم حساب عدد الأنماط الطولية المتولدة داخل المرنان كالآتي:

$$N = \frac{2L}{\lambda} = \frac{2L}{c}\Delta\nu \qquad (1)$$

هنالك إجراءات يتم اتخاذها لغرض تقليل عدد الأنماط الطولية لشعاع الليزر هي:

- تبريد الوسط الفعال.
- تقصي طول المرنان .
- استخدام تقنية ضابط عامل النوعية.

4-8-2- الأنماط العرضية: هي توزيعات المجال الكهرومغناطيسي للموجة الضوئية(الليزر)بشكل عمودي على المحور البصري للمرنان، كما هو موضح في الشكل (6) [35]:



الشكل(6): الأنماط المستعرضة[35]

- يسمى النمط $\mathbf{TEM_{00}}$ بالنمط الأساس أو النمط الكاوسي .يحتوي هذا النمط على حوالي (85%) من طاقة شعاع الليزر الناتج وهو دائري الشكل (منتظم) ويعتبر النمط الأكثر تفضيلا في تشغيل منظومات الليزر بصورة عامة.
- يسمى النمط $\mathbf{TEM^*_{01}}$ بنمط الكعكة (Doughnut) . ينتج هذا النمط بسبب وجود شوائب أو جسيمات على سطح المرآة أو داخل الوسط الفعال.
- يكون النمط ذو المرتبة الأعلى أكثر انفراجا من النمط الأقل مرتبة.

4-9- الترابط: هو حالة وجود موجتين كهرومغناطيسيتين (فوتونين) أو أكثر بنفس الطور الفضائي أو الزماني , وهو صفة من صفات الليزر.

4-10- إسكان المستوي: هو عدد الذرات أو الجزيئات من المادة الموجودة في مستوي طاقوي معين ويرمز له بـ N.

4-11- التردد: هو عدد تذبذبات الموجة الكهرومغناطيسية في الثانية الواحدة ويرمز له بـ $\boldsymbol{\nu}$ ويحسب كالآتي [34]:

$$\nu = \frac{E}{h} = \frac{c}{\lambda} \qquad (2)$$

حيث: $\boldsymbol{E}$ هي طاقة الموجة الكهرومغناطيسية أو المستوي

$\boldsymbol{h}$ هو ثابت بلانك ويساوي $\boldsymbol{h = 6.63 * 10^{-34} J.s}$

c هي سرعة الضوء أو الموجة الكهرومغناطيسية في الفراغ وتساوي $\boldsymbol{c = 3x10^{8} m/s}$

$\boldsymbol{\lambda}$ هو الطول الموجي للموجة الكهرومغناطيسية.

4-12- الطيف الكهرومغناطيسي: هو مدى الأطوال الموجية الممتدة من الموجات الراديوية الى أشعة غاما كما هو مبين في الشكل(2):

4-13- الوسط الفعال: هو المادة التي تستخدم لتوليد شعاع الليزر وتكون على ثلاثة أنواع هي الصلب والسائل والغاز.

4-14- نمط التشغيل: هو الشكل الذي تعمل به منظومة الليزر وهو نوعين رئيسيين النبضي والمستمر ويرمز له (CW) أو يكون نبضي بتردد عالي يشبه المستمر ويسمى شبه المستمر (Semi- CW) [34]

4-15- نصف قطر المرآة D: هو المسافة الواصلة بين مركز المرآة و أي نقطة على محيطها.

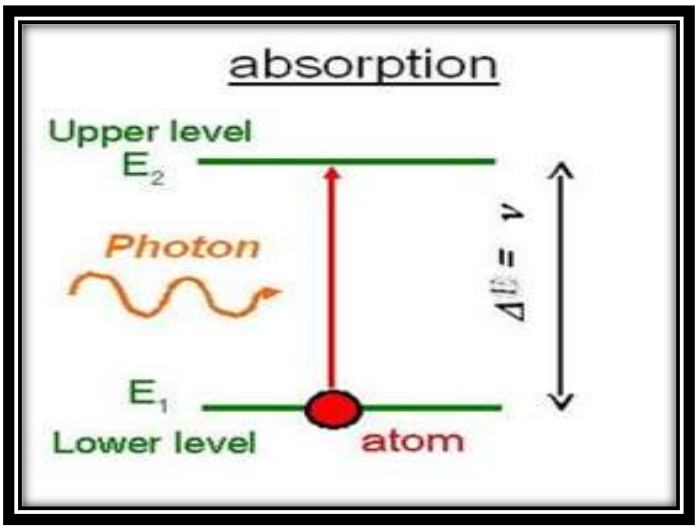
5- التفاعل بين الضوء والمادة:

تعتمد آلية الليزر على تفاعل الضوء والمادة. إذا تفاعل الإشعاع الكهرومغناطيسي مع المادة ، تحدث العمليات داخل الأيونية وبين الأيونات. لفهم خصائص الليزر ، سيكون التركيز هنا على العمليات داخل الأيونية ذات الصلة. يمكن أن تكون إما إشعاعية ، عندما تكون الفوتونات مشاركة ، أو غير إشعاعية ، عندما تكون الفونونات متضمنة. يمكن أن توجد الأنظمة الذرية مثل الذرات والأيونات والجزيئات فقط في حالات الطاقة المنفصلة. يرتبط التغيير من حالة طاقة إلى أخرى - يسمى الانتقال - إما بامتصاص أو انبعاث فوتون ،. يمكن للموجة الكهرومغناطيسية التي يتوافق ترددها مع فجوة طاقة في مثل هذا النظام الذري أن تتفاعل معها. يتم إعطاء الطول الموجي للإشعاع الممتص أو المنبعث من خلال علاقة تردد بور[21]:

$$\Delta \boldsymbol{E = E_2 - E_1 = h\upsilon_{21}} \qquad \textbf{(3)}$$

حيث E2 و E1 هما مستويان منفصلان للطاقة ، حيث $E_2 > E_1$، υ_{21} هو التردد ، و h هو ثابت بلانك.

1-5- الامتصاص : هو عملية انتقال (اكتساب) الطاقة من المحيط إلى المادة فتزداد طاقة ذرات أو جزيئات المادة وتصعد إلى مستويات طاقة أعلى $\mathbf{E_2}$ من الحالة $\mathbf{E_1}$ التي كانت فيها قبل امتصاص الطاقة.[21] كما هو مبين في الشكل(7):



الشكل (7) : ظاهرة الإمتصاص [21]

2-5- الانبعاث:هو عملية انتقال (فقدان)الطاقة من المادة إلى المحيط فتقل طاقة ذرات أو جزيئات المادة وتهبط إلى مستويات طاقة أوطأ $\mathbf{E_1}$ من الحالة $\mathbf{E_2}$ التي كانت فيها قبل انبعاث الطاقة.

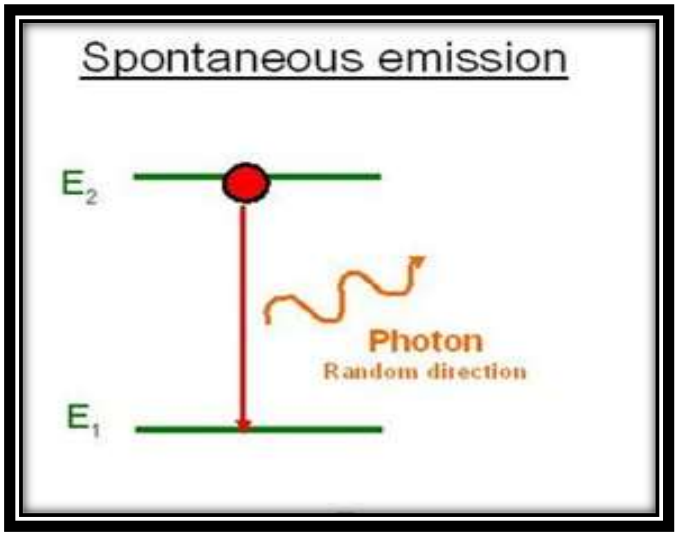
1-2-5 الانبعاث التلقائي :هو عملية فقدان الطاقة من المادة بشكل تلقائي على شكل ضوء أو حرارة أو حركة بدون تأثير خارجي.و يعطى معدل الانبعاث التلقائي بالمعادلة الآتية [21]:

$$\frac{\mathrm{dN_2}}{\mathrm{dt}} = -\mathrm{A_{21}}N_2 \qquad (4)$$

حيث يمثل $\frac{dN_2}{dt}$ معدل الانبعاث التلقائي و $\boldsymbol{A_{21}}$ احتمالية الانبعاث التلقائي من المستوي $\boldsymbol{E_2}$ إلى المستوي $\boldsymbol{E_1}$ و N_2 استيطان المستوي $\boldsymbol{E_2}$.وتحسب قيمة $\boldsymbol{A_{21}}$ من المعادلة الآتية [21]:

$$A_{21} = \frac{1}{t_{spont}} \qquad (5)$$

حيث $\boldsymbol{t_{spont}}$ هو عمر الانبعاث التلقائي وهو الفترة الزمنية التي يستغرقها حدوث الانبعاث التلقائي كما هو مبين في الشكل **(8) :**



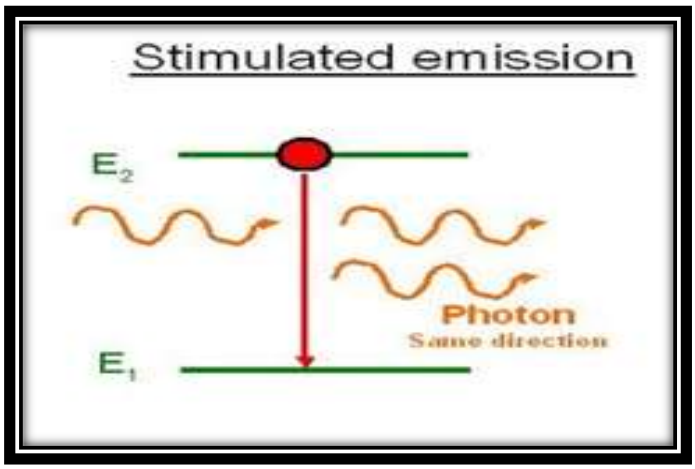
الشكل (8) : ظاهرة الإنبعاث التلقائي [21]

2-2-5- الانبعاث المحفز أو المستحث: هو عملية فقدان الطاقة من المادة على شكل ضوء تحت تأثير خارجي ، وهو أساس عمل الليزر. و يعطى معدل الانبعاث المحفز بالمعادلة الآتية [21]:

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{stim} = \omega_{21}N_2 = -N_2\rho(\nu)B_{21} \qquad (6)$$

$$B_{12} = B_{21} \qquad (7)$$

حيث يمثل $\boldsymbol{\omega_{21}}$ معدل الانبعاث المحفز و $\left(\frac{\mathbf{dN_2}}{\mathbf{dt}}\right)_{\mathbf{stim}}$ احتمالية الانبعاث المحفز من المستوي $\boldsymbol{E_2}$ إلى المستوي E_1 و $\mathbf{N_2}$ استيطان المستوي $\mathbf{E_2}$; B_{12} , B_{21} معاملات آنيشتاين $m^3.J^{-1}.s^{-2}$ و $\rho(\nu)$ كثافة الطاقة للإشعاع الوارد $J.s.m^{-3}$



الشكل (9) : ظاهرة الإنبعاث المحفز[21]

تعطى النسبة (R) ما بين احتمالية الانبعاث التلقائي واحتمالية الانبعاث المحفز كالآتي [37]:

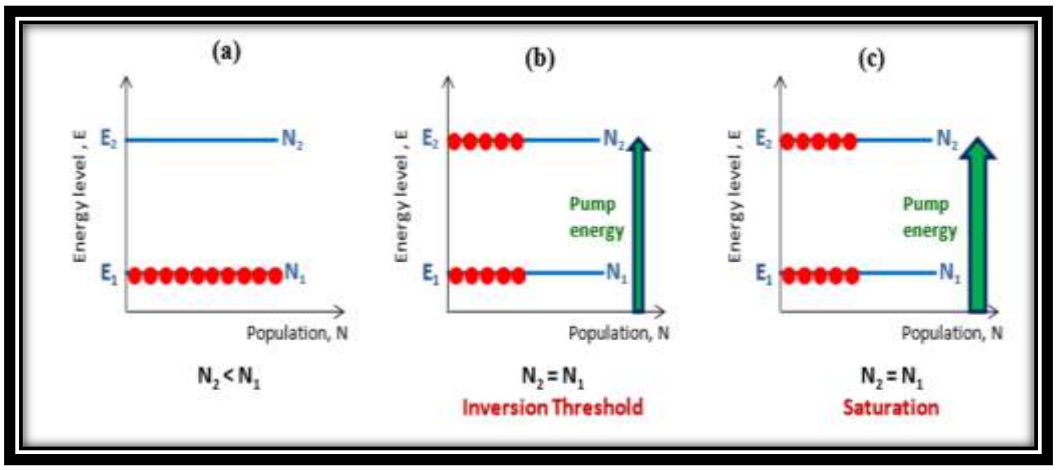
$$R = e^{\left(\frac{h\upsilon}{K_B T}\right)} - 1 \qquad (8)$$

حيث $\boldsymbol{K_B}$:هو ثابت بولتزمان ويساوي ($\mathrm{K_B} = 1.38\mathrm{x}10^{-23} J/K$)

$\boldsymbol{T}$: درجة حرارة المادة بوحدة الكالفين (K).

3-5- الإنقلاب السكاني في الحالة الطبيعية للمادة يكون الاستيطان (عدد الذرات أو الجزيئات) في الحالة الأرضية $\mathrm{N_1}$ أكبر من الاستيطان في أي مستوي أعلى . وبصورة عامة ، يكون الاستيطان (عدد الذرات أو الجزيئات) في الحالة السفلية أكبر من الاستيطان في الحالة الأعلى منها ، أي أن $N_1 > N_2$ وحسب قانون بولتزمان لتوزيع الذرات والجزيئات [19]:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{g_2}{g_1} \exp\left(-\frac{E_2 - E_1}{K_B T}\right) \qquad (9)$$



الشكل (10) : نسبية الإسكان في مستويين من الطاقة[21]

(a) للتوازن الحراري ، (b) لعتبة الانعكاس و (c) التشبع في عمليات الانتقال.

4-5- الضخ: هو عملية نقل الطاقة من مصدر الطاقة إلى الوسط الفعال المولد لليزر.

إن نوع المادة المستخدمة لتوليد الليزر (الوسط الفعال)يحدد طريقة الضخ للمنظومة.

يعتمد الضخ على:

- نوع الوسط الفعال (صلب ، سائل ، غاز) .

- نمط التشغيل (مستمر أو نبضي).
- طبيعة عنصر الضخ (كهربائي ، كيمياوي ، بصري ، حراري).
- عرض نطاق (طيف) الامتصاص لشعاع الضخ إذ أنه يجب أن يمتص الإشعاع بشكل جيد

5-6-1- أنواع الضخ:

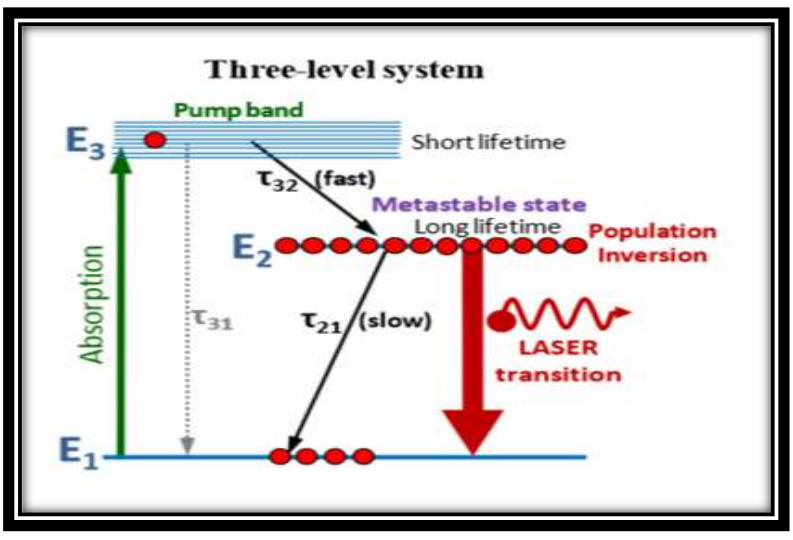
هناك عدة أنواع من الضخ نذكر منها [21]:

- التفريغ الكهربائي للغازات.
- الإضاءة بواسطة المصباح الوميضي للمواد الصلبة والسائلة.
- التفاعلات الكيمياوية للمواد السائلة والغازية.
- إمرار تيار كهربائي للمواد أشباه الموصلات.
- التسخين للغازات.

6- أنظمة المستويات الليزرية

6-1- نظام المستويات الثلاثية:

يتكون من ثلاث مستويات طاقة و هي المستوي الأرضي (الذي يمثل المستوي الليزري السفلي (Lower Laser Level) ويرمز له بـ **LLL** , والمستوي المتهيج الذي يمثل المستوي الليزري العلوي (Upper Laser Level) ويرمز له بـ **ULL** , المستوي الشبه مستقر أو الوسطي**[35]** .كما هو موضح في الشكل (11) **:**



الشكل (11) : رسم تخطيطي لمستوى الطاقة لنظام ليزر ذو ثلاث مستويات[21]

❖ **خصائص المستويات الثلاثية:**

- المستوي الأرضي هو نفسه المستوي الليزري السفلي
- يجب ضخ نصف عدد الذرات أو الجزيئات من المستوي الأرضي إلى المستوي العلوي للحصول على التوزيع المعكوس , لذلك نحتاج إلى طاقة ضخ عالية جدا.
- المستوي شبه المستقر لا يتم اختياره لعملية التوزيع المعكوس لأنه لا يستطيع خزن عدد كبير من الذرات أو الجزيئات المتهيجة مثل المستوي الليزري العلوي الذي يكون عريض جدا [34].

تحسب قدرة الليزر الخارجة $\boldsymbol{P_L}$ كالآتي [38]:

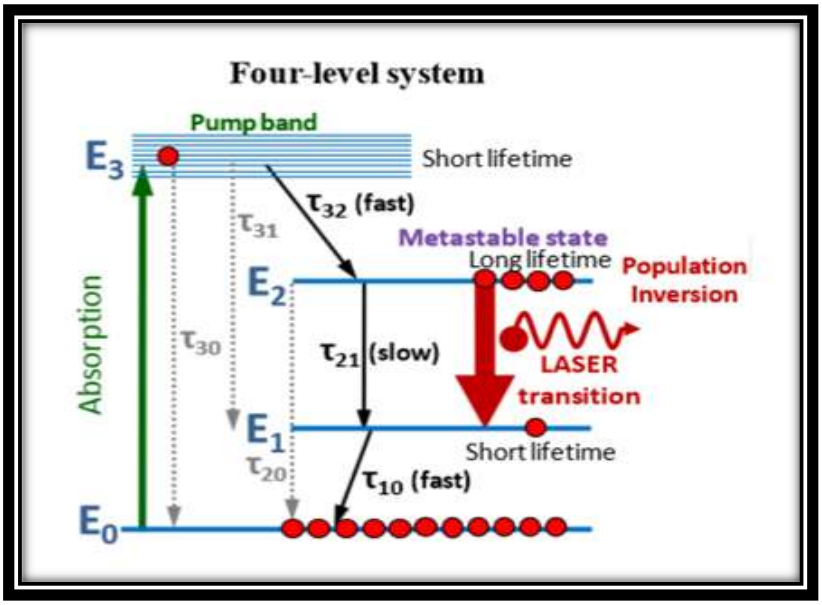
$$P_L = h\nu(\omega_P \beta N_1 - A_{21} N_2 \qquad (10)$$

حيث $\boldsymbol{h\nu}$ هي طاقة الفوتون المنبعث (الليزر) و $\boldsymbol{\omega_P}$ هو معدل ضخ الذرات أو الجزيئات إلى المستوي العلوي و $\boldsymbol{\beta}$ هي كفاءة المستوي $\boldsymbol{N_2}$ و $\boldsymbol{A_{21}}$هو معدل الانبعاث التلقائي من المستوي شبه المستقر (Metastable) إلى المستوي الأرضي .

2-6- نظام المستويات الرباعية :

يتكون من أربع مستويات طاقة وهي المستوي الأرضي , المستوي الليزري السفلي (Lower Laser Level) ويرمز له بـ **LLL** ، والمستوي المتهيج والمستوي الليزري

العلوي (Upper Laser Level)، ويرمز له بـ **ULL** [39][21]. كما هو موضح في الشكل (12) **:**



الشكل (12) : رسم تخطيطي لمستوى الطاقة لنظام ليزر ذو أربع مستويات[21]

❖ **خصائص المستويات الرباعية:**

المستوي الأرضي هو ليس نفسه المستوي الليزري السفلي ، لذلك فإننا لا نحتاج إلى مصدر ضخ قوي جدا لتحقيق التوزيع المعكوس. أكثر المواد المستخدمة لتوليد الليزر تكون ذات نظام مستويات رباعية.
تحسب قدرة الليزر الخارجة كالآتي [21] [30]:

$$P_{\mathrm{L}} = h\nu\Delta N_C\omega_L = h\nu\Delta N_C(\frac{P\prime_2}{\Delta \mathrm{N}_C} - \omega_{21}) \qquad (11)$$

حيث $\boldsymbol{P_{\mathrm{L}}}$ قدرة الليزر الخارجة و $\boldsymbol{h\nu}$ هي طاقة الفوتون المنبعث (الليزر) و $\boldsymbol{\Delta N_C}$ هي قيمة التوزيع المعكوس و $\boldsymbol{\omega_L}$ هو معدل ضخ أو نزول الذرات أو الجزيئات من المستوي الليزري العلوي إلى المستوي الليزري السفلي و $\boldsymbol{P'_2}$ هي قدرة الضخ المؤثرة وتحسب كالآتي [21]:

$$\mathrm{P'}_2 = \mathrm{P}_2[\,1 - \left(\frac{\omega_2}{\omega_{10}}\right)\left(1 + \frac{P_1}{P_2}\right)\,] \qquad (12)$$

إذا كان عدد الذرات أو الجزيئات $\boldsymbol{N_2 > N_1}$ بمقدار **1** (واحد) فإن هذا يعني حدوث التوزيع المعكوس ما بين المستويين $\boldsymbol{E_1}$ و $\boldsymbol{E_2}$

7- المرنان:هو المنظومة المتكونة من مرآتين على محور بصري مشترك حيث تنتقل فوتونات الليزر بين المرآتين ذهابا وإيابا من أجل تضخيمها[40].

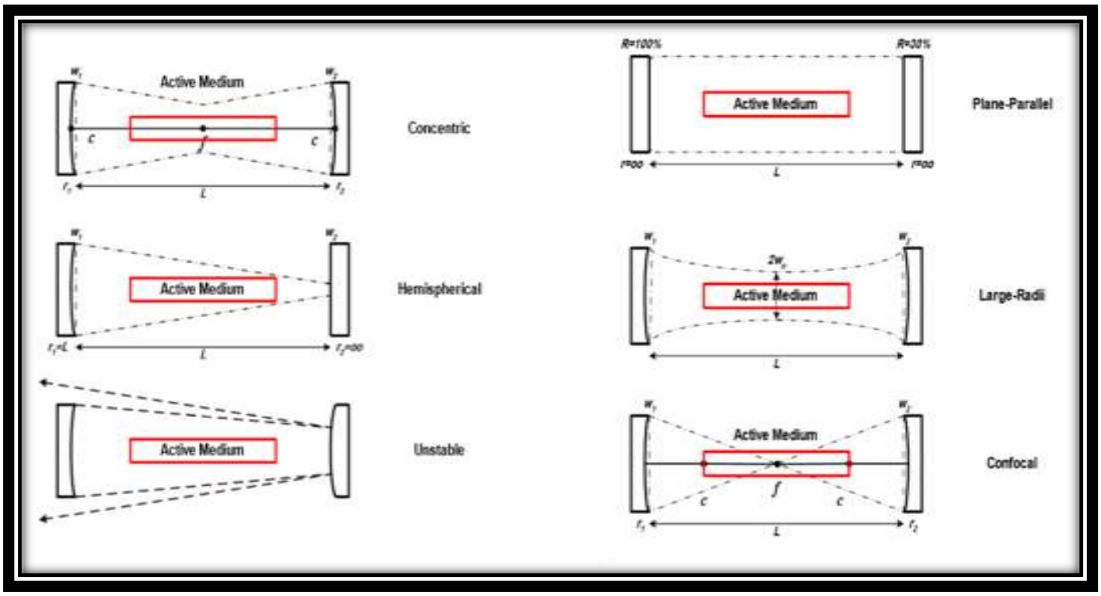
انعكاس كلي للمرآة الخلفية، وتصنع عادة من الألمنيوم ، الفضة، النحاس أو تطلى بالذهب. أحيانا تصنع مرايا الليزر الخلفية من مادة عازلة على شكل طبقات متعددة ومتعاقبة (عزل عالي- عزل واطئ) ، أما المرآة الثانية فتكون إنعكاسيتها أقل .

7-1- الترصيف البصري: هو عملية وضع المرآتين على استقامة واحدة تماما بحيث يكون المحور البصري مستقيما .تعتمد عملية الترصيف البصري على:

- ❖ نوع الوسط الفعال .
- ❖ حجم المنظومة .
- ❖ درجة التعقيد في المنظومة.

7-2- أنواع المرنان :

أنواع المرنان الرئيسية هي ستة أنواع كما هي في الشكل (13) :



الشكل(13) : أصناف المرنان

8- عرض خط الانبعاث:

تمتاز أشعة الليزر عن الضوء الاعتيادي بأنها أحادية الطول الموجي أي أن عرض الحزمة الترددية لها $\Delta\nu$ يكون ضيق جدا .من الناحية النظرية يكون عرض خط الانبعاث لشعاع الليزر يساوي جزء صغير من الهيرتز(**Hz**) ولكن من الناحية العلمية يتوسع عرض خط الانبعاث لشعاع الليزر بشكل كبير لأسباب

عديدة وبالتالي تحتوي حزمة الليزر على عدد كبير من الترددات ويسمى شعاع الليزر في هذه الحالة متعدد الأنماط الطولية.

يعرف عرض خط الانبعاث لشعاع الليزر $(\Delta\boldsymbol{\nu})$ بأنه استجابة ذرات الوسط الفعال للمجال الكهرومغناطيسي بينما يعرف المقدار $(\mathbf{c/2L})$ بالفاصلة الترددية [39].

9- عامل النوعية للمرنان Q :

يعرف عامل النوعية للمرنان بأنه النسبة بين تردد شعاع الليزر المنبعث $(\boldsymbol{\nu})$ وعرض خط الانبعاث $(\Delta\nu)$ كالآتي:

$$Q = \frac{\nu}{\Delta\nu} = \frac{4\pi\nu L}{c(1-R_1R_2)} \qquad (13)$$

حيث R_2 و R_1 انعكاسية المرآتين الخلفية والأمامية لمرنان الليزر.

10- خواص الليزر :

يمتاز شعاع الليزر بأربعة مميزات أساسية هي [21][38][41]:

10-1- أحادية الطول الموجي (أحادية التردد): وتعني أن شعاع الليزر له طول موجي واحد فقط أي تردد منفرد.

8-2- الترابط: ويعني أن الفرق بين أي نقطتين على موجة شعاع الليزر يكون ثابت عند حركة الشعاع زمانيا ومكانيا . يعتبر الليزر المصدر الضوئي الوحيد الذي يمتلك صفة الترابط مقارنة بالمصادر التقليدية الأخرى.

10-3- الاتجاهية : وهي انتشار الحزمة باتجاه واحد ولمسافات طويلة جدا دون إنفراجها عن محورها أو إنفراج قليل جدا بحيث لا يتجاوز بضعة سنتمترات لكل كيلومتر.

10-4- السطوع : وهو يعني أن كثافة قدرة شعاع الليزر في وحدة المساحة تكون عالية جدا. تسمى كثافة قدرة شعاع الليزر في وحدة المساحة بالشدة . وعلى سبيل المثال تكون شدة مصباح التنغيستن الاعتيادي ذي القدرة W100 حوالي ($2000W/cm^2$) بينما شعاع ليزر بنفس القدرة تصل شدته إلى حوالي ($2 * 10^9 W/cm^2$) أي أكبر بمقدار مليون مرة من مصباح التنغيستن الاعتيادي.

11- أنواع الليزر :

الليزر أنواع مختلفة حسب الاستخدامات وتنوع الليزر يأتي حسب تنوع [32][33][39]:

- ❖ المرنان.
- ❖ مصدر الطاقة.
- ❖ المادة المستخدمة لإنتاجه (الوسط الفعال).

11-1- المرنان :

وهو الوعاء الحاوي و المنشط لعملية التكبير وفي العادة يستخدم:

- **المرنان الخارجي :** وهو مرآتان متوازيتان في نهاية الأنبوب الحاوي للمادة الفعالة, وتكون الانعكاسات المتعددة بينهما هي الأساس في عملية التضخيم الضوئي ، كما في الليزرات الغازية[32].

- **المرنان الداخلي :** ويتمثل في طلاء نهايات المادة الفعالة لتعمل عمل المرآة كما في ليزر بلورات الياقوت وليزر عقيق الألمنيوم والزجاج Nd: YAG وفي الليزرات ، الصلبة بصورة عامة. وفي كلا الحالتين يجب أن تكون إحدى المرآتين عاكسة كليا للفوتونات الضوئية والأخرى تسمح بالنفاذ الجزئي لكي يتسنى لشعاع الليزر الخروج منها خارج المرنان[39].

11-2- الوسط الفعال : تتنوع الليزرات حسب الحالة الفيزيائية للمادة و نذكر منها [32][31][38]:

- **ليزر الحالة الصلبة :** هو الليزر الذي ينتج بواسطة مادة أو خليط من مواد صلبة مثل الياقوت أو عقيق الالومنيوم و الزجاج المسمى بـ : Nd: YAG ويكون طوله الموجي في منطقة الأشعة تحت الحمراء.وهاته المادة (Nd: YAG) هي التي سنستعملها كوسط فعال في عملنا هذا.

- **ليزر الغاز:** وهو يعتمد على مادة غازية مثل هيليوم-نيون ، غاز ثاني اكسيد الكربون وتكون اطوالها الموجية في مدى الاشعة تحت الحمراء وتستخدم في قطع المواد الصلبة لطاقتها العالية.

- **ليزر الإكسيمر:** وتطلق على أنواع الليزرالغازية التي تستخدم غازات خاملة مثل غاز الكلور أو الفلور أو الكربتون أو الأرجون وتنتج هذه الغازات اشعة ليزر ذات أطوال موجية في مدى الأشعة فوق البنفسجية.

- **ليزر الأصباغ:** وهي عبارة عن مواد عضوية معقدة مثل الرودامين ليزر الأصباغ مذابة في محلول كحولي وتنتج ليزر يمكن التحكم في الطول الموجي الصادر عنه.

- **ليزر أشباه الموصلات:** ويطلق عليه احيانا بليزر الديود ويعتمد على المواد شبه الموصلة ويمتاز بحجم ليزر صغير ويستهلك طاقة قليلة ولذلك يستخدم في الأجهزة الدقيقة مثل أجهزة قارئ الاسطونات وطابعات الليزر .....الخ

11-3- مصدر الطاقة :

وهي التي تحدد طريقة الحث لإثارة المادة الفعالة وحثها على بعث إشعاع الليزر.

- **الطاقة الكهربائية :** وتتمثل في استعمال الطاقة الكهربائية المباشرة بأسلوبين مثل: استخدام مصادر للترددات الراديووية كطاقة داخلة, أو استخدام التفريغ الكهربائي في التيار المستمر مثال على ذلك ليزر غاز ثاني أوكسيد الكربون ، ليزر الهليوم- نيون وليزر غاز الأرجون ...الخ

- **الطاقة الحرارية :** يمكن أن يتسبب كل من الضغط الحركي للغازات ، والتغيرات في درجات الحرارة في حث وإثارة المواد لتبعث أشعة الليزر.

- **الطاقة الكيميائية :** تعطي التفاعلات الكيميائية بين مزيج من الهيدروجين H_2 والفلور F_2 طاقة مسببة لحث هاته الجزيئات على بعث الإشعاع الليزري ، وكذلك مع خليط فلوريد الديتريوم DF، وثاني أوكسيد الكربون.. ، و مثال ذلك الليزرات الكيميائية.

- **الطاقة الضو ئية:** والمعروفة باسم الضخ الضوئي ويمكن أن تنبعث من مصدرين رئيسيين:
  - **استخدام المصابيح الوهاجة** ذات القدرة الكبيرة كما في ليزر الياقوت.

  - **استخدام شعاع الليزر** كمصدر طاقة إلى ليزر آخر وهذه الأخيرة شائعة الاستخدام في إنتاج إشعاعات ليزرية كثيرة في مناطق الطيف المختلفة ، ومثال على ذلك ليزرات الصبغات، السائلة.

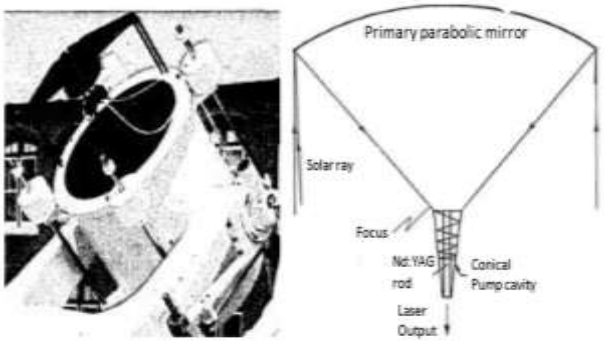
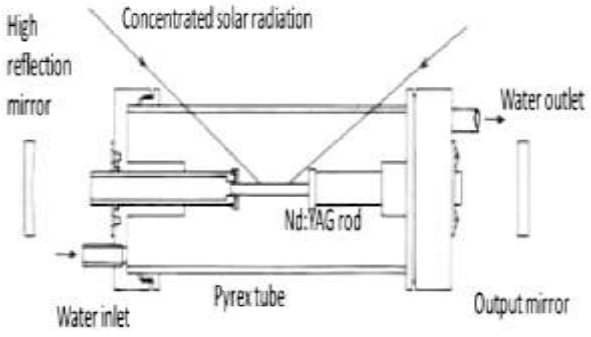
- **استخدام الإشعاع الشمسي** كمصدر طاقة لضخ الليزروذلك بتسليط الإشعاع الشمسي المركز بواسطة مركز مصفوف الحلقي RAC [24]. وهذا النوع من الطاقة سيتم إستخدامه في هذا العمل.

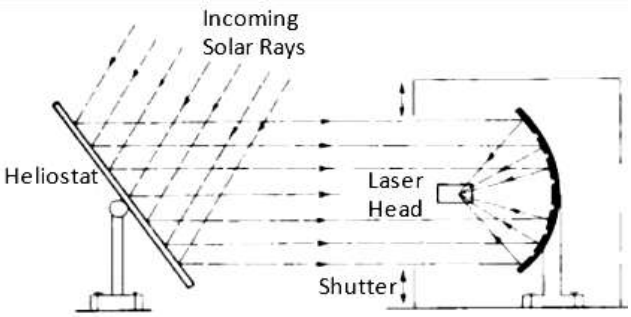
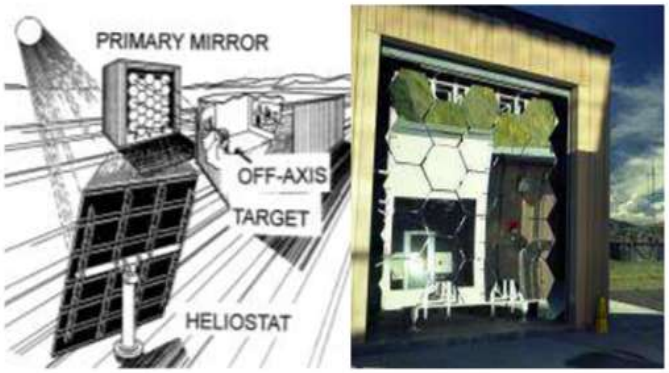
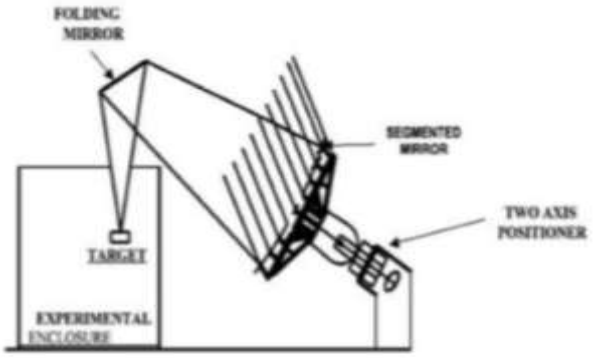
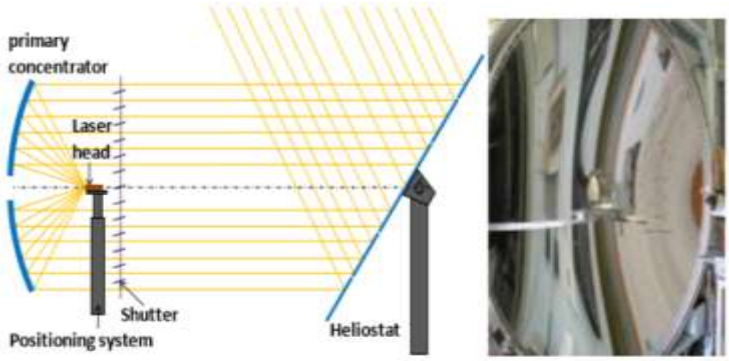
12- الليزر الشمسي:

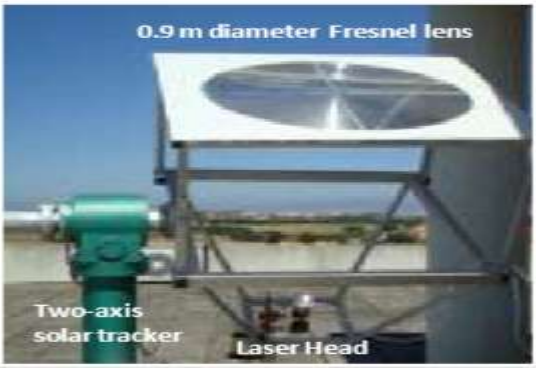
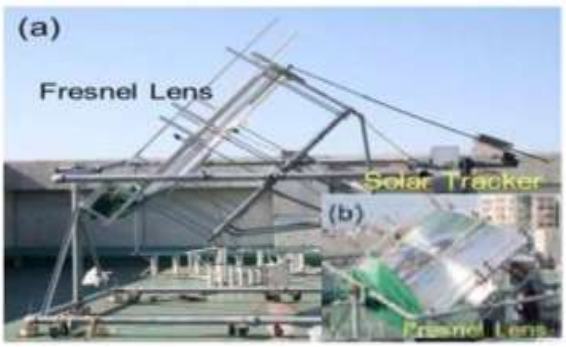
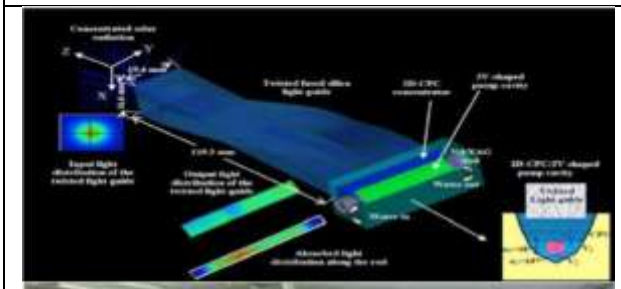
12-1- نبذة تاريخية :

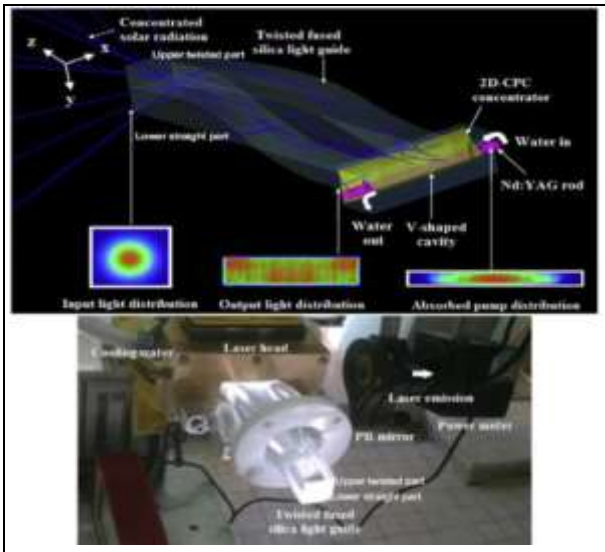
ظهرت فكرة الليزر الذي يتم ضخه بالطاقة الشمسية (الليزر الشمسي) بعد فترة قصيرة من اختراع الليزر (10). تم وصف الدراسات الأولى عن الليزر الشمسي في الأدبيات منذ عام 1962 [24]. تم الإبلاغ عن أول ليزر يتم ضخه بالطاقة الشمسية في عام 1963 بواسطة كيس وآخرون. باستخدام بلورة فلوريد الكالسيوم (CaF2).وهذه نبذة تاريخية عن الليزر الشمسي كما هو مبين في الجدول.

الجدول (1): جدول تطور الليزر الشمسي

السنة- الباحثون	أنظمة الطاقة الشمسية وتركيز الليزر الشمسي
	أنظمة المرآة القطع المكافئ Parabolic Mirror Systems
1966 أول ليزر شمسي Nd: YAG بقدرة 1W Young AO [46]	تلسكوب كاسيجرين المعدل لتتبع الشمس وضع التتبع المباشر المركز الأساسي: قطر $61\ Cm$ منطقة تجميع $0.29m^2$ ؛ فتحة العدسة f / 1.5 
1984 تكوين رأس الليزر الشمسي Nd: YAG بقدرة 18W Arashi.et al [47]	تكوين رأس الليزر الشمسي وضع التتبع المباشر المركز الأساسي: منطقة تجميع $78.5m^2$ 

1988 ليزر شمسي Nd:YAG 60W Weksler & Shwartz WIS[48]	فرن WIS الشمسي  وضع التتبع غير المباشر المكثف الأساسي المقسم: 600 مرآة كروية ؛ مساحة تجميع $38.5m^2$
1996 -كفاءة التجميع $4.7W/m^2$ Jenkins et al. Chicago-U [49]	فرن الطاقة الشمسية عالي التدفق (HFSF) من NREL  وضع التتبع غير المباشر (خارج المحور) المكثف الأساسي المقسم:25 قطعة سداسية ؛ منطقة التجميع $12.1m^2$؛ البعد البؤري $7.3\ m$
2003 -كفاءة التجميع $6.7W/m^2$ -سطوع شعاع الليزر الشمسي 0.032W Lando et al. WIS[50]	المكثف الشمسي المصحح اللابؤري WIS (ACTA)  وضع التتبع المباشر المكثف الأساسي المقسم: 61 قطعة سداسية ؛ مساحة التجميع $6.75m^2$ ؛ الطول البؤري $8.5m$
2012 -سطوع شعاع الليزر الشمسي 0.29W -كفاءة التجميع $9.6W/m^2$ Almeida etal. [54]	فرن الطاقة الشمسية متوسط الحجم (MSSF) PROMES-CNRS  وضع التتبع غير المباشر المكثف الأساسي: 2 متر مرآة قطرية مكافئة ؛ 0.85 م البعد البؤري

أنظمـــــة عدســـــات فيرنل Fresnel Lens Systems		
2007 كفاءة تجميع $18.7W/m^2$ Yabe et al. TITech [51]	نظام عدسة فيرنل TITech وضع التتبع المباشر مكثف أساسي: منطقة التجميع $1.33 \times 0.98m^2$ طول بؤري $1.2m$	
2011 كفاءة تجميع $19.3W/m^2$ Liang et al. [51] NOVA	نظام عدسات نوفا فريسنل NOVA وضع التتبع المباشر المكثف الأساسي: منطقة التجميع $0.636\ m^2$, طول بؤري 1.2 m	
2012 كفاءة تجميع كفاءة المنحدرات 8.6% Dinh et al. [53]TITech	نظام عدسة فيرنل TITech وضع التتبع المباشر مكثف المرحلة الأساسي:منطقة تجميع $4m^2$, البعد البؤري $2m$	
2017 كفاءة تجميع Bouadjemine R. et al., [51]	مكثف المرحلة الأولية: قطر 2 م منطقة تجميع فعالة 1.18 م 2 ، مرآة مكافئة	

2017 كفاءة تجميع Mehellou Said et al., [51]	مكثف المرحلة الأولية: قطر 2 م منطقة تجميع فعالة 1.18 م 2م ، مرآة مكافئة	

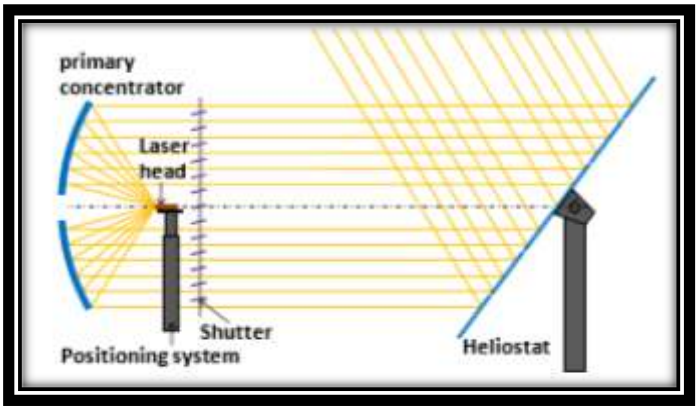
2-12- تعريف الليزر الشمسي:

الليزر الشمسي يشترك في نفس خصائص و مميزات الليزرات الأخرى ، فقط الإختلاف في مصدر الطاقة. مصدر طاقة الليزر الشمسي يستمدها من الأشعة الشمسية لضخ وسطه الفعال، هذا الأخير لا يتطلب أي مصدر للطاقة الاصطناعية مما يشجع استخدام الطاقة البديلة.

تعتمد فكرة الليزر الشمسي على تركيز الإشعاع الشمسي من أجل الحصول على كثافة ضخ عالية لتوليد الليزر، وذلك باستخدام أجهزة التركيز الشمسي مثل المركز المكافئ، عدسة فرينل، المصفوف الحلقي ...الخ ,و بعملنا هذا سنستعمل مركز مصفوف الحلقي لزيادة التركيز الى مستوي أعلى [21].

3-10- مكونات منظومة الليزر الشمسي:

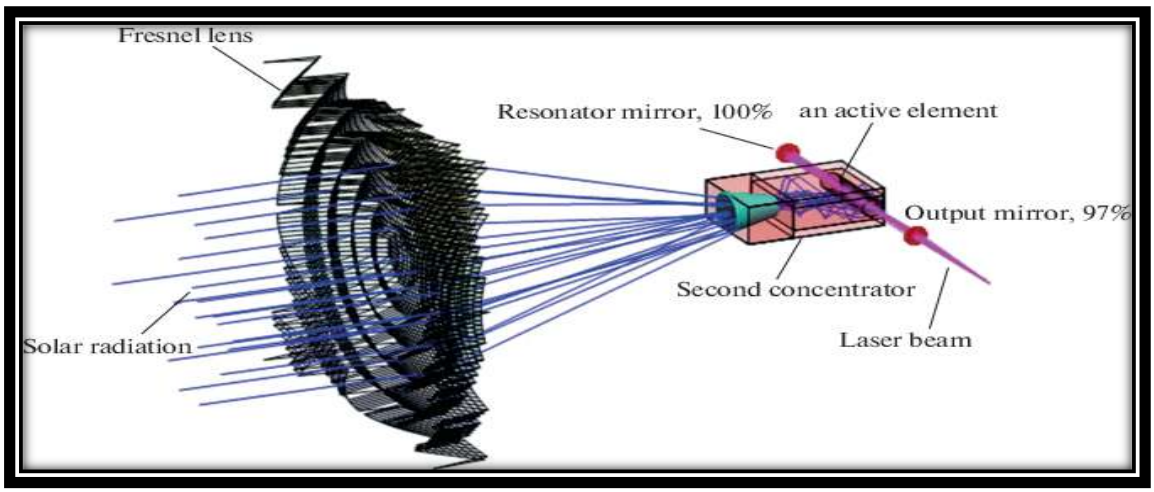
تتكون منظومة الليزر الشمسي كباقي المنظومات من مصدر الطاقة (أشعة الشمس), مادة فعالة , مرنان ووسيلة ضخ, لكن هنا تستعمل أشعة الشمس المركزة كوسيلة للضخ.وفي منظومتنا الليزرية نستعمل مركز مصفوف الحلقي كما هو موضح في الشكل (13).



الشكل (13):منظومة الليزر الشمسي[21]

10-4- الضخ الشمسي :

تستعمل الطاقة الشمسية المركزة من طرف المركز الشمسي لضخ المادة الليزرية ، ولكون طيف الإشعاع الشمسي المركز يحوي مجال من الأطوال الموجية لا تتفاعل كلها مع المادة الفعالة (لأنها لا تثار إلا بأطوال موجية مناسبة) ، مما يؤدي إلى انتشار الحرارة داخلها وهذا قد يؤدي إلى تلفها ففي هذه الحالة نقوم بعملية ترشيح الضوء المجمع من طرف المركز الشمسي للحصول على ضوء ذو الطول الموجي المطلوب من المجال الطيفي والذي يتلاءم مع ضخ المادة الفعالة ،. كما هو موضح في الشكل (14) :

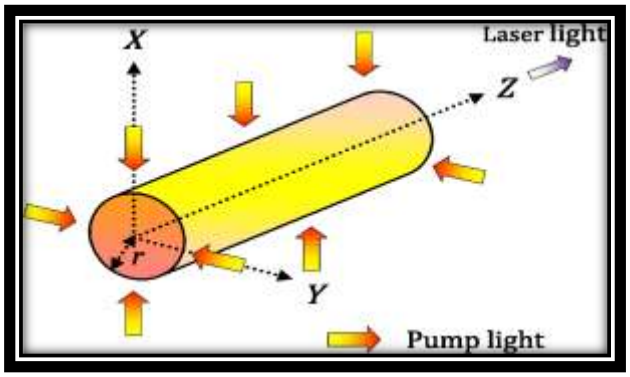


الشكل (14):الضخ الشمسي[37]

ويوجد نوعين من الضخ :

10-4-2- الضخ الجانبي: عادة ما يتم تنفيذ عملية الضخ بطريقتين ، وهما الضخ الجانبي وتقنيات الضخ النهائي بالليزر. يوضح الشكل (15) قضيبًا تخطيطيًا يتم ضخه بواسطة تقنية الضخ الجانبي. في طريقة

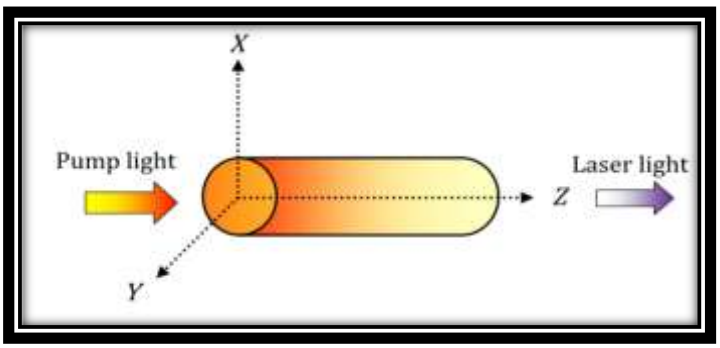
الضخ هذه ، ينتقل ضوء المضخة بشكل موحد إلى قضيب الليزر عن طريق سطحه الأسطواني مما يؤدي إلى توزيع منتظم لضوء المضخة الممتص داخل القضيب. [13]



الشكل (15): رسم تخطيطي لمنظومةة الضخ الجانبي [44]

10-4-2- الضخ عند الأطراف:

في طريقة الضخ هذه ، ينتقل الضوء إلى قضيب الليزر من خلال نهايته مما يؤدي إلى توزيع ضوء المضخة الممتص غير المنتظم داخل القضيب, والشكل (16) يوضح ذلك [13].



الشكل (16) : رسم تخطيطي لمنظومة الضخ على الطرف [44]

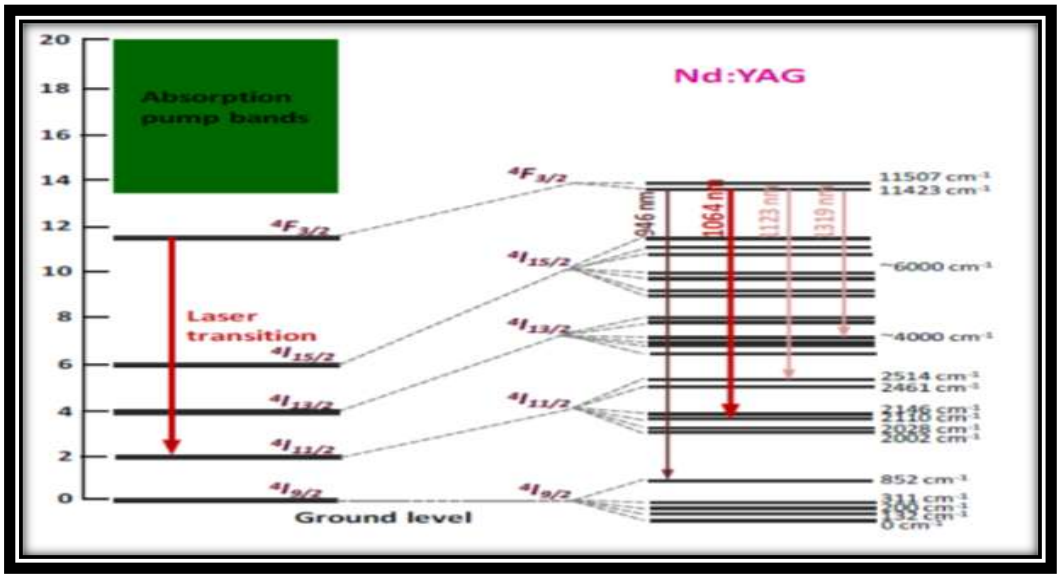
10-5- المادة الفعالة: تستعمل عناصر الارض النادرة في منظومة الليزر الشمسي لكونها تتميز بمجال امتصاص و إصدار كبير داخل مجال الطيف الكهرومغناطيسي والجدول التالي يوضح طيف الامتصاص والاصدار لبعضها[19] .

والجدول التالي يبين اطوال موجات الامتصاص و الاصدار لبعض عناصر الارض النادرة

جدول(2): يبين اطوال موجات الامتصاص و الاصدار لبعض المواد

الرمز	العنصر	طول موجة الامتصاص (nm)	طول موجة الاصدار (nm)
Pr	برازيوديم	1010	1300
Nd	نيوديم	790	1064
Sm	سماريوم	488	1300
Yb	ياتريبيوم	980-900	1000

ليزر النيوديم من أكثر الليزريات شيوعا, و في عملنا هذا نستعمل Nd:YAG الذي يكون فيه الوسط الليزي المضيف هي بلورات $y_3Al_5O_{12}$ بحيث يتم تطعيمه بأيونات Nd^{+3} لكونه يملك خصائص بصرية و حرارية وبنية مستقرة وعتبة ضخه تقدر بـ $790\ nm$.والتي تصدر أطوال موجية في المنطقة تحت الحمراء $1.06\mu m$ [9] . يوضح الشكل(17) الانتقالات الطيفية لهذا العنصر :



الشكل(17) : مخطط الانتقالات الطاقوية داخل بلورة Nd:YAG [21]

11- الخاتمة :

تم التطرق في هذا الفصل إلى دراسة منظومة الليزر عموما والليزر الشمسي خصوصا , يعد الليزر مفتاحا جديدا لأهم التقنيات الحديثة، فقد فتح المجال لعدة تطورات علمية . منظومة الليزر الشمسي من أهم الاعمال التي تعتبر قيد الدراسة لحد الساعة وهذا من خلال تحسين مكونات منظومته اما من جانب تقنية الضخ المستعملة أو وسيلة تركيز الاشعاع الشمسي القطع المكافئ، عدسة فرينل أو مصفوف الحلقي المستعمل في هذا العمل، أو المادة الفعالة أو التجويف البصري، و كل هذا لتحسين كفاءة منظومة الليزر الشمسي.

الفصل الرابع : محاكاة عددية

محاكاة عددية

1- تمهيد :

يعتمد مبدأ الليزر الشمسي على تحويل أشعة الشمس إلى ليزر ، من خلال تركيز هذه الأشعة للحصول على الطاقة اللازمة لتوليد الليزر، وذلك باستخدام أجهزة التركيز الشمسي (مركز RAC , المركز ذو القطع المكافئ ,عدسات فرينل...) , وتسلط هذه الإشعاعات المركزة على الوسط الفعال ليتم توليد الليزر ومن أشهر الأوساط الفعالة مادة Nd:YAG.

عند ضخ الوسط الفعال تتم عملية امتصاص الأشعة التي تعتبر أحد العوامل الأساسية في تحديد فعالية الليزر الشمسي حيث تتعلق استطاعة هذا الأخير بالاستطاعة الممتصة من طرف الوسط الفعال. يؤدي هذا الامتصاص إلى ارتفاع درجة حرارة الوسط الفعال مما يؤثر سلبا على الليزر الناتج . توجد طريقتان لضخ الوسط الفعال لتوليد الليزر الشمسي , ضخ جانبي وضخ على الأ طراف وفي دراستنا اخترنا الضخ الجانبي, لأنه يمكن من توزيع الأشعة الشمسية المركزة على كامل الوسط الفعال بانتظام مما يقلل من ارتفاع درجة الحرارة على عكس الضخ على الأ طراف الذي يركز الأشعة على أحد الأ طراف مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارته (حرارة الوسط الفعال لمنظومة الليزر الشمسي) واحتمال تلفه. لذلك سنقوم في هذا الفصل بالمحاكاة العددية باستعمال برنامج **ZEMAX** ومحاولة الحصول على أكبر استطاعة ممتصة من طرف الوسط الفعال [19].

2- برنامج زيماكس ZEMAX :

زيماكس **ZEMAX** هو برنامج تصميمي بصري ذو استخدام واسع، يستعمل لتصميم الأنظمة البصرية وتحليلها حيث تم تصميم واجهة ZEMAX لتكون سهلة الاستخدام ومع القليل من التدريب العملي يمكننا من التصميم التفاعلي السريع للغاية [19].

يحتوي البرنامج على مكتبة ضخمة من العدسات والمواد المصنعة لها, و يضم طرائق عديدة لتقييم أداء التصميم عن طريق توزيع الإضاءة ودوال الانتشار البصري واستخدام الكواشف [19].

يمكن الوصول إلى معظم ميزات هذا البرنامج عن طريق تحديد الخيارات في نوافذ الحوار أو القوائم المدرجة. حيث يتم توفير اختصارات للتنقل بسرعة بين القوائم .

يحتويZEMAX على أنواع مختلفة من النوافذ كل منها يخدم غرضا محدد أهمها [19]:

2-1- النافذة الرئيسية :يحتوي شريط النافذة الرئيسي على العديد من رؤوس القوائم نذكر منها :

File ; Editors ; System ; Analysis ; Tools ; Reports ; Macros ; Extensions ; Peer Help ; Help .

2-2- نوافذ المحرر:

نوافذ المحرر تستخدم أساسا لإدخال البيانات

2-3- نوافذ النص :

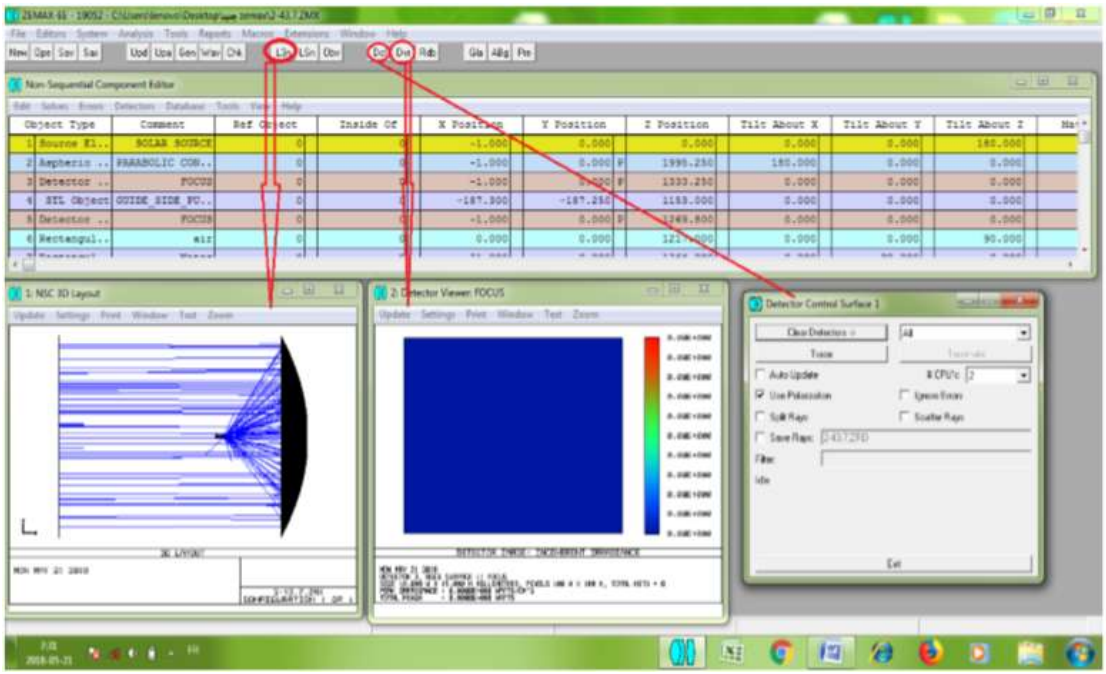
يتم استخدام نوافذ النص لإظهار بيانات نصية مثل بيانات التعليمات والزوايا والبيانات الرقمية.

2-4- الحوارات :

معظم الحوارات صريحة عادة ، توجد أزرار "موافق "و "إلغاء "الشائعة في نوافذ حوار Windows.

يمكن نقل جميع النوافذ أو تغيير حجمها (باستثناء نوافذ الحوار)باستخدام الأمر القياسي للفأرة أو لوحة المفاتيح.

وقد استخدمنا في هذه المحاكاة نسخة البرنامج (ZEMAX2009) يوضح الشكل (1) نافذة برنامج ZEMAX.



الشكل (1) :صورة لنافذة برنامج ZEMAX

يملك كل عنصر من نافذة المحرر في البرنامج إحداثيات على المحاور(x,y,z) وزوايا دوران حول هذه المحاور, أما الخانات الأخرى تختلف من عنصر إلى آخر حيث تسجل فيها خصائص ومميزات كل عنصر.

2-5- العناصر البصرية

يتم تصميم كل من مركز مصفوفة الحلقة ورأس الليزر باستخدام العناصر البصرية التي يوفرها ZEMAX.يمكن أيضًا استخدام برامج التصميم بمساعدة الكمبيوتر مثل SOLIDWORKSTM لتصميم وتنفيذ بعض العناصر البصرية ذات الأشكال الهندسية غير الموجودة في قائمة كائنات ZEMAXTM.

يتم تحديد خصائص الانعكاس أو الانكسار أو الامتصاص للكائنات وفقًا للمادة الموجودة في قائمة التحرير لكل مكون غير متسلسل ، كما هو موضح في الشكل (2).

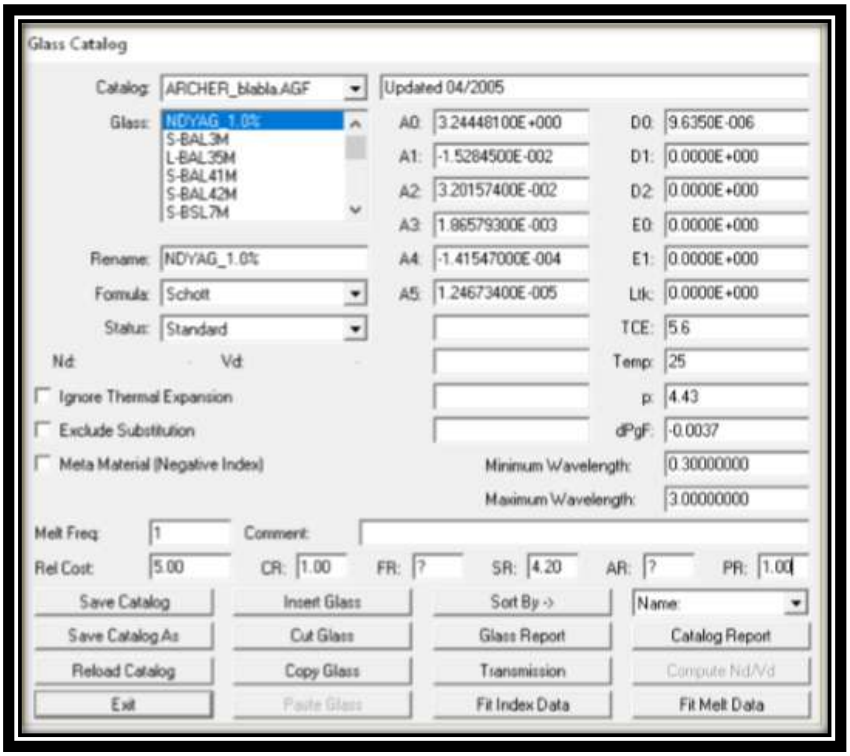
Non-Sequential Component Editor

Edit Solves Tools View Help

	Object Type	Tilt About X	Tilt About Y	Tilt About Z	Material	X Half Width
9	Aspheric ..	90.000	0.000	0.000	MIRROR	27.750
10	Fresnel 1	90.000	180.000	90.000	PMMA	145.000
11	Annular A..	-90.000	180.000	0.000	SILICA	0.000
12	Sphere	90.000	180.000	0.000	SILICA	15.500
13	Cylinder ..	90.000	180.000	0.000	SILICA	15.500
14	Cylinder ..	90.000	180.000	0.000	WATER	6.800
15	Detector ..	90.000	0.000	0.000	ABSORB	10.000
16	Cylinder ..	90.000	0.000	0.000	NDYAG	2.500

الشكل (2):مواد مختلفة في محرر المكون غير المتسلسل.

إذا لم يكن للكائن انعكاس أو انكسار ، فيجب تحديد وظيفة ABSORB في عمود المادة. تُستخدم هذه الوظيفة عادةً للكاشفات أو تُستخدم لإنشاء الظل في جزء لا نريد الدخول فيه إلى المحاكاة عند نقطة معينة. إذا كان للكائن خصائص انعكاس ، مثل كل حلقة عاكسة مكافئة أو الشكل الداخلي لرأس الليزر ، فيجب تحديد وظيفة MIRROR. ومع ذلك ، في حالة المواد الانكسارية ، مثل قضيب الليزر ، أو عدسة فرينل ، أو العدسة شبه الكروية للسيليكا المنصهرة ، يجب تحديد كل خاصية مادة من خلال قائمة Glass Catalog في الشكل (3).

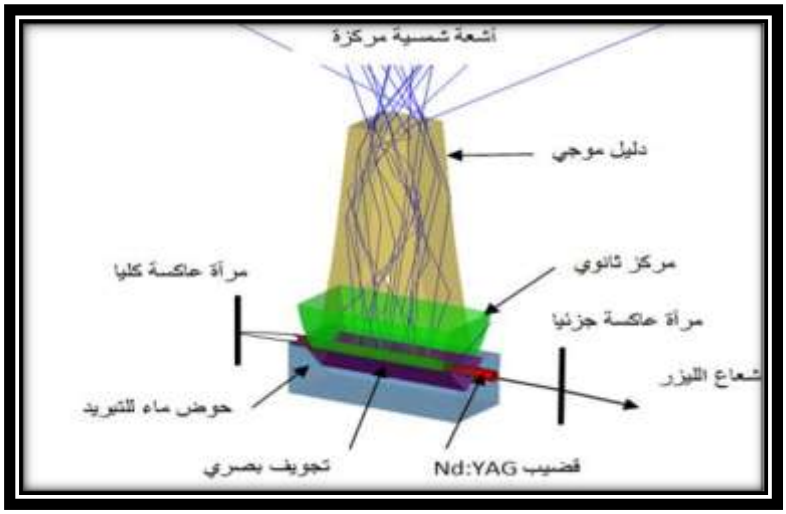


الشكل (3) : قائمة مع خصائص العناصر الزجاجية في ZEMAX

3- منظومة الليزر الشمسي :

تتكون منظومة الليزر الشمسي التي سنقوم بمحاكاتها ببرنامج ZEMAX من المكونات التالية الموضحة في الشكل (4):

- مركز مصفوف الحلقي.
- الدليل الموجي.
- المركز الثانوي.
- التجويف البصري.
- الوسط الفعال (قضيب Nd:YAG)
- التجويف الرنيني.
- حوض التبريد.



الشكل (4) :رسم تخطيطي يوضح منظومة الليزر الشمسي[19]

4- مركز مصفوف الحلقي RAC:

توجد عدة أنواع من المركزات الشمسية منها المركز ذو القطع المكافئ وعدسات فرينل و مركز مصفوف حلقي RAC والمركزات الاسطوانية وأبراج الطاقة.....الخ

-وفي هذه الدراسة سنقوم بإستخدام مركز مصفوف حلقي RAC لأن لهذا التصميم ميزة رئيسية وهي أنه يسمح بإزالة منطقة الظل بين الإشعاع الشمسي الوارد والمنطقة البؤرية مقارنةً بالتصاميم الأخرى, ونسبة تركيزه كبيرة مقارنة بالمركزات الأخرى[21]. يحتوي هذا المركز على ستة حلقات كما هو مبين في الشكل(5)

الشكل (5) :حلقات المركز RAC [21]

وبعد تجميع الحلقات نحصل على التصميم التالي كما هو مبين في الشكل (6)

الشكل(4): المركزRAC بعد التجميع [21]

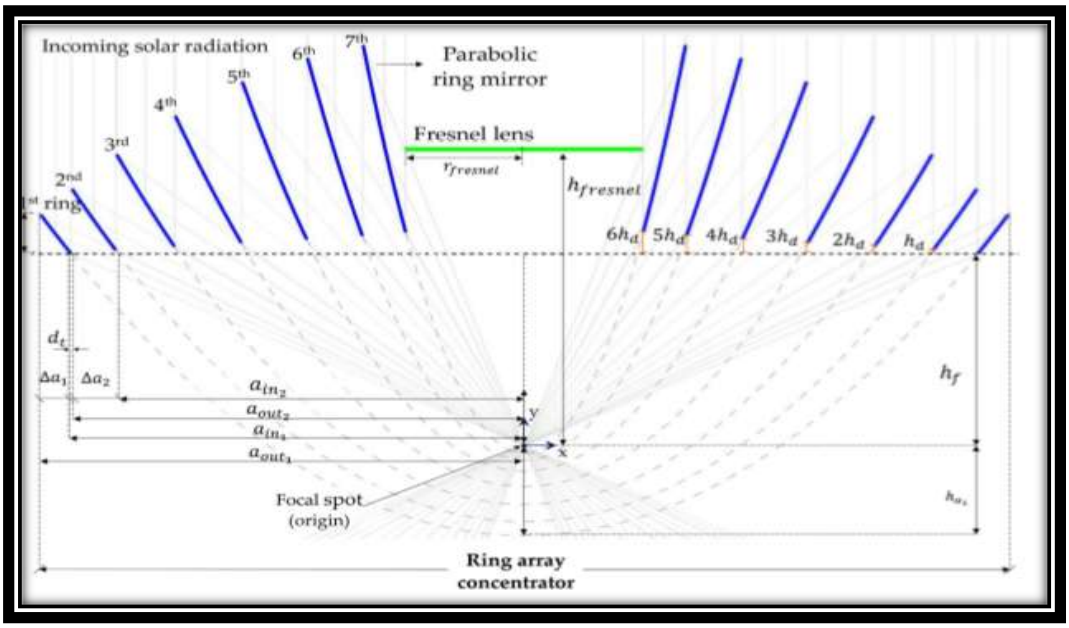
5- منهجية تصميم مركز مصفوف الحلقي RAC :

5-1- وصف مركز مصفوف الحلقي RAC

تتكون تقنية المركز الشمسي RAC من جزأين كما هو مبين في الشكل (7):

- مجموعة من حلقات القطع المكافئ متحدة المركز التي تعكس وتركز الأشعة الشمسية في بؤرة مشتركة.

- عدسة فرينل صغيرة من البولي ميثاكريلات(PMMA) في مركز مركز الـ RAC لزيادة تركيز الأشعة الشمسية المركزية [21].



مخطط لمركز مصفوف الحلقي[21]

تمثل الخطوط الزرقاء المقطع العرضي للحلقات المكافئة ويمثل الخط الأخضر المقطع العرضي لعدسة فرينل.

Δa_1 هو عرض الحلقة للحلقة الأولى ، a_{out1} هو الفتحة الخارجية للحلقة الأولى ، a_{in1} هي الفتحة الداخلية للحلقة الأولى ،h_f هو الطول البؤري ، h_{a1} هو انحراف ارتفاع الحلقة للحلقة الأولى ،H_1 هو الارتفاع من الحلقة الأولى ، RoC_1 هو نصف قطر انحناء الحلقة الأولى و m_1 هو المنحدر الرياضي الذي تم تتبعه من الحلقة الأولى إلى الأصل, **dt** هو سمك الحلقة و $\mathbf{r_{fresnel}}$ هو نصف قطر عدسة فرينل[21].

يتكون مركز RAC من حلقات مختلفة ، كل واحدة منها عبارة عن مقطع مقطوع من مرآة مكافئة ، موضوعة بشكل مركز داخل منطقة دائرية. المساحة المركزية المتبقية تحتلها عدسة فرينل.

يوضح الشكل (1) عرضًا مقطعيًا لمركز مصفوف حلقي RAC . تم تصميم كل حلقة مرآة مكافئة بشكل تحليلي بحيث لا تعيق أي حلقة مسار ضوء التركيز. ركزت عدسة فرينل الأشعة الشمسية المركزية المتبقية التي لا تعترض الحلقات.

2-5 - الطرق التحليلية والرقمية للمركز مصفوف حلقي RAC

1-2-5- الطريقة التحليلية لتصميم مركز مصفوف الحلقي RAC :

يستخدم مكثف مصفوفة الحلقة نفس مبدأ التركيز مثل المرآة المكافئة الشائعة ، والتي تشترك في نفس المعادلات. كل حلقة لها خصائصها المميزة (الشكل 7) ، مثل عرض الحلقة (Δa_n)، مع n كرقم الحلقة ، ونصف قطر الانحناء (RoC_n). تشترك جميع الحلقات في نفس الطول البؤري (hf). يتم تحديد عرض الحلقة من خلال الفرق بين الفتحة الخارجية (a_{out_n}) والفتحة الداخلية (a_{in_n}) لذلك [19].

$$\Delta a_n = a_{out_n} - a_{in_n}$$

يعتمد تصميم وحدة فرن التبريد وتكييف الهواء في الغالب على معلمات الحلقة الخارجية (الحلقة الأولى). من ناحية ، الفتحة الخارجية للحلقة الأولى (a_{out_1}) هي نصف قطر مركز مصفوف الحلقي. من ناحية أخرى ، يحدد عرض الحلقة الأولى (Δa_1) معلمات كل الحلقات الداخلية الأخرى.

مثل العرض والارتفاع الموضعي ونصف قطر الانحناء والمحاذاة والأبعاد وموضع عدسة فرينل.

a_{out_1} ، Δa_1 و h_f هي معلمات البداية الرئيسية لتصميم RAC [19] .

- يتم تحديد نصف قطر انحناء حلقة مكافئة عشوائية بواسطة المعادلة 1:

$$RoC = \sqrt{{h_f}^2 - {a_{in_n}}^2} - h_f \qquad (1)$$

- يتم حساب أقصى ارتفاع للحلقة (n) لحلقة عشوائية بواسطة المعادلة 2:[21]

$$H_n = \frac{1}{2}\left(\frac{{a_{out_n}}^2}{RoC_n} - RoC\right) \qquad (2)$$

يتم تحديد انحراف ارتفاع الحلقة عند قمة القطع المكافئ $(h\ n)$ ، وهو أمر ضروري لضمان وجود بقعة بؤرية مشتركة لجميع الحلقات ، بواسطة المعادلة 3:[21]

$$h_{r_n} = \frac{RoC_n}{2} \qquad (3)$$

المعادلات 1 و 2 و 3 ضرورية لإنهاء كل حلقة.

بالنسبة للحلقات اللاحقة الأخرى ، يتم تحديد الفتحة الداخلية بالمعادلة 4 والفتحة الخارجية بواسطة المعادلة 5.

$$h\mathrm{a}_{\mathrm{in_n}} = \frac{h_f}{m_n - 1} - d_t \qquad (4)$$

$$\mathrm{a}_{\mathrm{out_n}} = \mathrm{a}_{\mathrm{in_{n-1}}} - d_t \qquad (5)$$

حيث dt هو سمك الحلقة ويتم تعريف m بالمعادلة (6) [19].

$$m_n = \frac{H_n}{\mathrm{a}_{\mathrm{out_n}}} \qquad (6)$$

مع تحديد فتحات الحلقة الخارجية والداخلية ، يمكن تصميم الحلقة n باتباع المعادلات 1 و 2 و 3.

أخيرًا ، تم تحديد موضع ارتفاع عدسة (h_{resnel}) الموضوعة في مركز مركز مصوف الحلقي RAC بواسطة المعادلة (7) [21].

$$h_{f\mathrm{resnel}} = m_N \mathrm{a}_{\mathrm{in_N}} \qquad (7)$$

- الفتحة الشعاعية لعدسة فرينل (r_{resn}) هي نفس الفتحة الداخلية للحلقة الأخيرة (N) ، كما هو موضح في المعادلة [19].

$$r_{fresnel} = a_{in_N} \quad (6)$$

تم إنشاء منظومة مركز مصفوف الحلقي من سبع حلقات رقميًا من خلال النظر في أبعاد البداية في الجدول 1.

وقياسات التصميم اللازمة لكل حلقة مبينة في الجدول 2.

الجدول 1 - الأبعاد الأولية لمركز مصفوف الحلقي

عرض الحلقة الأولى Δa_1 (mm)	سمك الحلقة dt (mm)	سمك عدسة فرينل (mm)	البعد البؤري hf (mm)	نصف قطر مركز الـ RAC (mm)
31.5	1.5	3	500	500

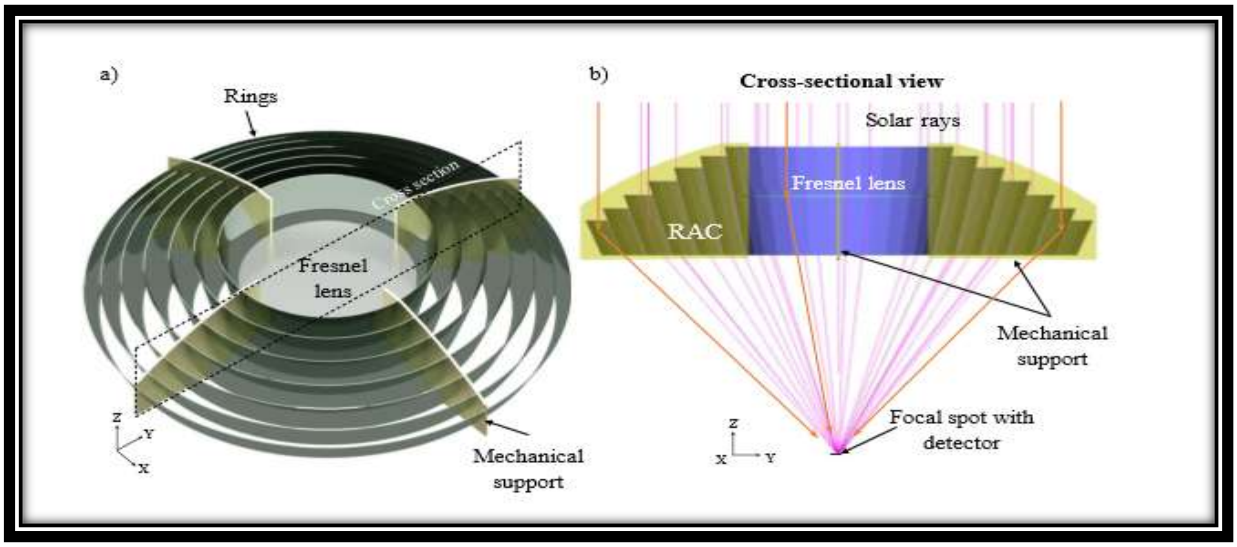
الجدول 2 - معلمات تصميم حلقات مركز مصفوف الحلقي

رقم الحلقات N	ارتفاع الحلقة n (mm)	نصف قطر الانحناء (mm)	الفتحة الداخلية a_{in_n} (mm)	عرض الفتحة Δan (mm)	عرض الفتحة Δa_n (mm)
الحلقة الأولى	76.0	185.0	468.5	500.0	31.5
الحلقة الثانية	108.0	158.0	427.8	467.0	40.3
الحلقة الثالثة	145.0	128.0	380.6	426.3	48.7
الحلقة الرابعة	184.0	99.0	329.8	379.1	53.6
الحلقة الخامسة	220.0	72.0	278.6	328.3	54.0
الحلقة السادسة	251.0	50.0	320.2	277.1	50.1
الحلقة السابعة	274.0	34.0	186.8	228.7	43.5

5-2-2- محاكاة منظومة مركز RAC بواسطة ZEMAX®

يقدم برنامج ZEMAX أدوات لتصميم المكونات البصرية بأشكال متنوعة. تم الحساب العددي للتدفق الشمسي والعرض الكامل بنصف الحد الأقصى (FWHM) من النقطة البؤرية. في الشكل (8-a) ، يظهر

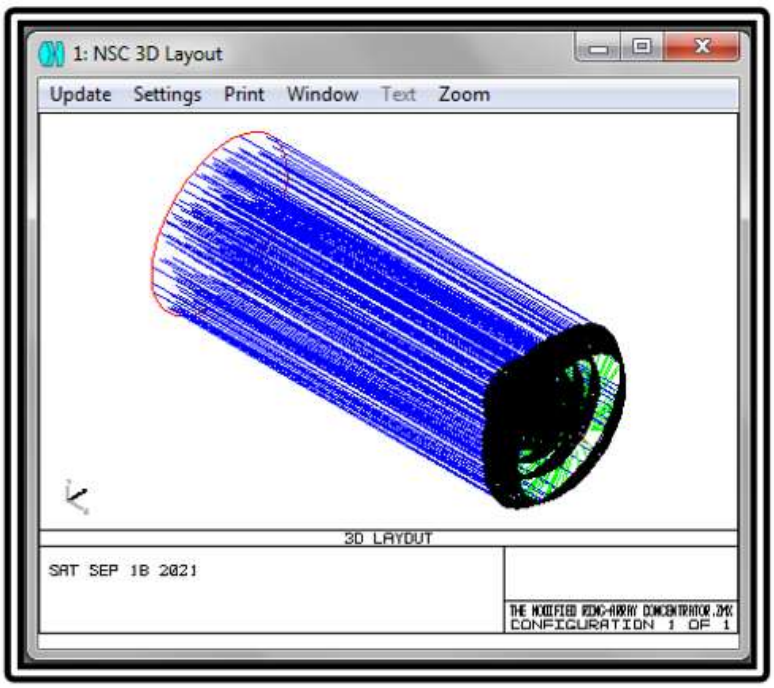
تمثيل ثلاثي الأبعاد لمركز مصفوف الحلقي بينما يبين الشكل (8-b) مقطع عرضي للمركز الشمسي RAC مع الأشعة الشمسية التي تنعكس بواسطة سطح المريا الحلقية وتتركز في البؤرة [19].



الشكل(8) : a- تمثيل ثلاثي الأبعاد لمركز مصفوف الحلقي ذو سبع حلقات

b- مقطع عرضي لمركز مصفوف الحلقي ومسار الأشعة الشمسية.

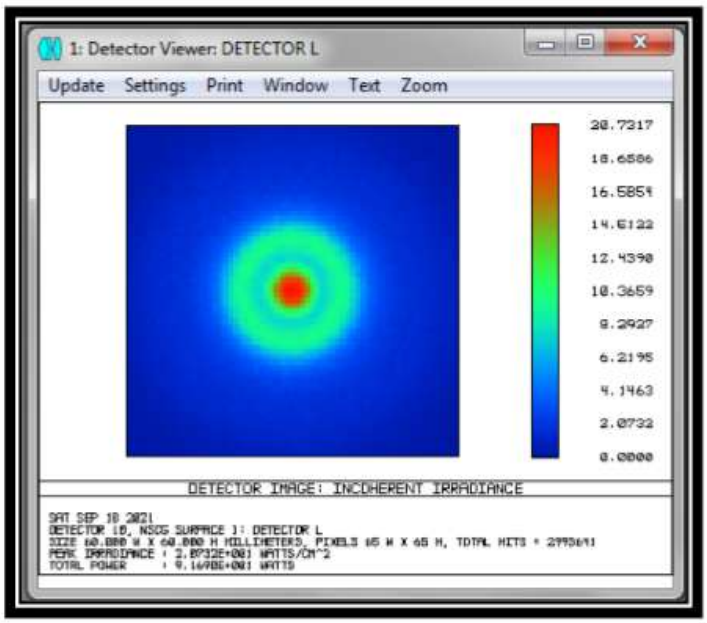
باستعمال برنامج ZEMAX وانطلاقا من الجدول (1) و (2) نقوم بمحاكاة تشكيل مركز مصفوف الحلقي مكون من سبع حلقات .



الشكل (9) : **تمثيل ثلاثي الأبعاد لمركز مصفوف الحلقي باستعمال برنامج ZEMAX**

5-2-3- نتائج المحاكاة :

باستعمال الكاشف الضوئي الموضوع في بؤرة المركز الشمسي مصفوف الحلقي وبمصدر طاقة **97w** تمكنا من قياس الطاقة الشمسية المركزة في هذه النقطة وكذالك تحديد توزيعها ، فوجدنا أن الاستطاعة المركزة تساوي : **91.69w** بتوزيع شبه غوسي كما هو مبين في الشكل (10)



DETECTOR IMAGE: INCOHERENT IRRADIANCE

SAT SEP 18 2021
DETECTOR 10, NSCG SURFACE 1: DETECTOR L
SIZE 60.000 W X 60.000 H MILLIMETERS, PIXELS 65 W X 65 H, TOTAL HITS = 2993641
PEAK IRRADIANCE : 2.0732E+001 WATTS/CM^2
TOTAL POWER : 9.1690E+001 WATTS

الشكل(10): يمثل توزيع الطاقة المركزة وكذلك قيمتها الكلية في بؤرة المركز مصفوف الحلقي RAC يجسدها الكاشف الضوئي

5-2-4- تحليل نتائج المحاكاة:

انطلاقا من مصدر ذي طاقة 97W ،بلغت قيمة الاستطاعة المركزة بواسطة مركز مصفوف الحلقي RAC: 91.69W بتحسين 5.44W بالمقارنة مع النتيجة السابقة 86.25W باستعمال مركز خارج المحور و يمثل هذا التحسين 6.30 % من هذه القيمة. ويرجع هذا التحسين الى زيادة نسبة التركيز التي تسمح به اجزاء المركز الشمسي مصفوف الحلقي (عبارة عن التركيز بواسطة عدة مركزات).

6- الخاتمة:

عند تركيز الطاقة الشمسية بواسطة المركز ذو القطع المكافئ تعاني هذه العملية من مشكل التظليل بالرغم من نسبة التركيز العالية لهذا النوع من المركزات بينما لا يوجد هذا المشكل عند التركيز بواسطة عدسات فرينل لكن نسبة التركيز لهذه الاخيرة غير عالية. يأتي مركز مصفوف الحلقي RAC ليحل هذا الإشكال لامتلاكه للميزتين الإيجابيتين ، الأولى لمركز القطع المكافئ (نسبة التركيز العالية) والثانية لعدسة فرينل (تفادي مشكل التظليل) .

وقد حققت نتائج المحاكاة ذلك حيث تم الحصول تقريبا على تحسين الاستطاعة المركزة باستعمال المركز الشمسي مصفوف الحلقي RAC وبالتالي تحسين مردود منظومة تجميع و تركيز الاشعاع الشمسي التي سوف تؤدي بالضرورة الى تحسين كفاءة الليزر الشمسي.

الخاتمة العامة

يعتمد مبدأ الليزر الشمسي على تركيز الأشعة الشمسية بواسطة المركزات الشمسية بغية الوصول الى مستويات طاقة عالية تمكنها من تحفيز المادة الفعالة . يحتوي نظام الليزر الشمسي على منظومة تجميع و توجيه و تركيز الاشعاع الشمسي وهذا باستعمال مرآة مسطحة (تجميع وتوجيه) و مركز شمسي يمكن ان يكون : قطع مكافئ ، مركز خارج المحور ، مركز مصفوف الحلقي او عدسة فرينل باعتبارها وسائل فعالة للاستفادة من أشعة الشمس ،لكن لكل نوع من هذه المركزات ايجابيات و سلبيات.

تهدف هذه الدراسة الى محاولة تحسين أنظمة التركيز الشمسي بالاستفادة من ايجابيات هذه المركزات و تفادي سلبياتها و هذا بالوصول الى تركيز اكبر قدر ممكن من الاشعة المجمعة . لهذا السبب تم استعمال مركز يجمع بين ميزة المركز ذو القطع المكافئ (نسبة تركيز عالية) و ميزة عدسة فرينل (تفادي مشكل التظليل) و المسمى بمركز مصفوف الحلقي .

اهتم الجزء الاول من الدراسة الرياضية **للمركز مصفوف الحلقي** لتحديد المقادير المميزة لهذا المركز انطلاقا من خصائص المركز ذو القطع المكافئ و عدسة فرينل . أما الجزء الثاني فتناول محاكاة المركز مصفوف الحلقي باستعمال برنامج ZEMAX من خلال وضع الكاشف الضوئي في بؤرة هذا المركز لتسجيل الاستطاعة المركزة انطلاقا من مصدر طاقة يساوي **97W** و تحديد توزيع الاشعة الشمسية المركزة عل مستوى البؤرة.

اعطت نتائج المحاكاة قيمة الطاقة المركزة في بؤرة المركز مصفوف الحلقي : **91.69w** بزيادة **5.44w** عن الدراسة السابقة باستعمال المركز خارج المحور و بنسبة تحسين قدرت بـ: **6.30%** , كما أظهرت النتائج أن الاستطاعة ذات توزيع شبه قوسي.

أظهرت هذه الدراسة أن النتائج واعدة و تتيح استعمال نظام التجميع و التركيز للإشعاع الشمسي بمركز المصفوف الحلقي ذو الكفاءة العالية مما يفتح آفاقا لتطوير أنظمة التركيز الشمسي لاستخدامها في توليد أشعة الليزر.

المراجع

[1] R.Cohen, "ChasingTheSun: The Epic Story of the Star That Gives Us Life ", Simon & Schuster, London, GB, 2010.

[2] P. Pérez-Higueras, E. F. Fernández , "Green Energy and Technology High Concentrator Photovoltaics Fundamentals, Engineering and Power Plants", Springer International Publishing ,Switzerland, 2015.

[3] J. A. Duffie, W. A. Beckman, "Solar Engineering of Thermal Processes", john wiley and sons.inc, New jersey, 3 rd Edition ,2006.

[4] خلف نور و حشيفة ليلى،" استعمال الطاقة الشمسية لتسخين المياه الصحية "، مذكرة تخرج لنيل شهادة ليسانس أكاديمي بالمركز الجامعي الوادي، 2012.

[5] صالح عبد الرحمن العذل، " الطاقة الشمسية "، مجلة العلوم والتقنية، العدد 34، 1995.

[6] عفاف شارف وفتيحة سعود،" إنتاج ليزر الطاقة الشمسية بواسطة المركزات الشمسية "، مذكر تخرج لنيل شهادة ماستر أكاديمي, جامعة ورقلة، 2018.

[7] Elisha. B, Babatunde," Solar radiation", published In Tech, Rijeka, Croatia 2012.

[8] محمد أحمد خليل،" الطاقة الشمسية واستخداماتها "،دار الكتب العلمية للنشروالتوزيع،القاهرة،2002

[9] A.E.Dixon,J.D.Leslie ,"Characteristics Of Solar Radiation, Solar Energy Conversion", Elsevier -Pergamon Press, Ontario, canada, 1979.

[10] N. Hamani," Modélisation du flux solaire incident et de la température de sortie dans un capteur solaire à eau avec effet de concentration du rayonnement solaire incident ",Thèse de Doctorat, Université Mohamed Khider Biskra, 2005.

[11] T. Muneer," Solar Radiation in Daylight Model", Elsevier Butterworth-Heinemann, Second edition ,Oxford, UK , 2004.

[12] مصطفى محمد الخياط، " مركزات الطاقة الشمسية "، مجلة الكهرباء العربية، العدد 99، 2010.

[13] Saïd MEHELLOU, " Pompage optique des lasers par faisceau solaire ", Thèse de Doctorat, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2018.

[14] M. Z. JACOBSON," Fundamentals of Atmospheric Modeling", Cambridge University Press ,Second Edition, New York ,2005.

[15] J.L. Linsky, R.E. Stencel," Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun", Springer -Verlag,Berlin,German, 1987.

[16] R. C. Neville, "Solar Energy Conversion", Elsevier Scince B.V, Second Edition, Amsterdam, Netherlands, 1995.

[17] Katsunari Okamoto, "Fundamentals of Optical Wave guides", Academic press, Second Edition, Japan, 2006.

[18] M. Mouzouris , M. J. Brooks," Construction of a Composite Material Solar Concentrator for High Heat Flux Applications", J. AIAA, 10-7097, Durban, South Africa, 2010.

[19] D. Garcia, J. Almeida, D.Liang, B.D.Tiburco, "Analytical and numerical analysis of a ring-array concentrator", Int. J. Energy Res. vol 45, 15110–15123, 2021.

[20] R. N. Bracewell , K.M.Price, "parabolic dish solar concentrator" ,Electr-power, vol. 27,Great Britain, 1981.

[21] J. I. L. Almeida," Advances in solar-pumped laser efficiency and brightness", Dissertation for the Doctoral Degree in Physical Engineering, , NOVA University of Lisbon,2017.

[22] M. Buljan, J. M. Lopes, P. Benítez, J. C. Miñano, "Recent trends in concentrated photovoltaics concentrators architecture", Journal of Photonics for Energy, 2021.

[23] R. da C. A. G. de Matos, " High-efficiency solar laser pumping by a ring-array concentrator" , Dissertation for obtaining the Master's Degree in Physical Engineering, NOVA University of Lisbon,2019.

[24] R. De Matos, " High Efficiency Solar Pumped Laser Through a Ring Array Concentrator ", Elsevier B.V,Vol 420, 1, P 6-13, 2019.

[25] كاميليا يوسف محمد، تكنولوجيا المركزات الشمسية CSP، دار الكتب و الوثائق القومية، السويس، مصر، 2018.

[26] A.L. Luque, V.M. Andreev, " Concentrator photovoltaics", Springer-verlag Heidelberg, Berlin, 2007.

[27] D.Garcia, D.Liang, B. D.Tibúrcio, J. Almeida, C.R.Vistas, "A three dimensional ring-array concentrator solar furnace", Solar Energy, Vol 193, 915-928, 2021.

[28] B. Rabeh, R. Bouadjemine, D. Liang, N. Hendaoui, A. Kellou, "Numerical study of a ring-array-concentrator for Nd:YAG solar laser pumping", J. Phys. IOP Publishing, 1859, 012057, 2021

[29] S .C. Singh, H. Zeng, C. Guo, W. Cai, " Nanomaterials: Processing and Characterization With Laser ", Wiley VCH Verlag, vol 1,USA,2012.

[30] صالح مصطفى الأتروشي ورياض وديع يوسف، " الليزر وتطبيقاته "، منشورات جامعة أم القرى،السعودية،2008.

[31] M. J.WEBER, "Handbook of lasers", CRC Press , vol 2, California, 2001.

[32] بيلا.آ.لينكيل " الليزرات " أجراف المحيط الهادي، كاليفورنيا، 1979.

[33] M. Bertolotti, "The history of the laser", Institute of Physics Publishing Bristol, UK, 2005.

[34] محمد الكوسا، " فيزياء الليزر وتطبيقاته "،منشورات جامعة دمشق، سوريا، 2006.

[35] سعود بن حميد اللحياني، " الليزر وتطبيقاته "، جامعة أم القرى،السعودية، 2004.

[36] S. W. Koch, W.W.Chow, " Semiconductor laser fundamentals physics of the gain materials", Springer-Verlag, Marburg, Germany, 1999.

[37] Almeida. J, Liang. D, Guillot. E, " Improvement in solar-pumped Nd:YAG laser beam brightness ", Opt. Laser Technol.vol 44, 2115-2119, 2012.

[38] W. Koechner, " Solid-State Laser Engineering ", Springer-Verlag, 4th ed, Heidelberg, Berlin, 2005.

[39] عدي عطا حمادي، " أساسيات الليزر وتقنياته "، دار الكندي للنشر و التوزيع، 2004.

[40] T. Suhara," Semiconductor laser fundamentals ", Marcel Dekker.inc, New York, U.S.A, 2004.

[41] H. Haken," Light LASER Light Dynamics ", North-Hholland Physics,vol 2, Amsterdam, 1985.

[42] R. Boutaka, R. Bouadjemine, D. Liang, N. Hendaoui, A. Kellou, "Numerical study of a Ring-Array-Concentrator for pumping Nd:YAG solar laser ", Journal of Physics, Conf -Ser 1859-012057, 2021.

[43] مريم أزهر علي غالب، " تقييم كفاءة خلية شمسية من مادة السيليكون ذات اخاديد مختلفة الشكل باستخدام برنامجZEMAX "،رسالة مقدمة لنيل درجة ماجستير علوم فيزياء، جامعة بغداد، 2016.

[44] Said Mehellou, Ferhat Rehouma, Noureddine Hamrouni, Leila Bouras, "Thermal loading effects on Nd:YAG solar-laser performance in end-pumping and side-pumping configurations: a review", Opt. Eng. 57(12), 120902, 2018.

[45] C. WA. Young ," sun-pumped one-watt laser " , Appl. Optique, vol5, 993-998, 1996.

[46] R. J. Insuik , W. Christiansen, "H Blackbody-Pumped CO2 Laser

Experiment", AIAA J, vol 22, 1271-1274, 1984.

[47] Arashi, H, Oka. Y, Sasahara. N, Kaimai. A, Ishigame. M " A solar-pumped cw 18W Nd:YAG laser " Jpn. J. Appl. Phys, vol23, 1051–1053,1984.

[48] Weksler. M, Shwartz. J." Solar-pumped solid-state lasers", IEEE J. Quantum Electron, vol 24, 1222– 1228, 1988.

[49] D .Jenkins , M .Lando, J. O Gallagher, R .Winston," A solar-pumped Nd:YAG laser with a record efficiency of 4.7 watt/m2 " , Bulletin of Israel Physics Society,vol 32, 101, 1996.

[50] Lando. M, Kagan. J, Linyekin. B, Dobrusin. V, " A solar pumped Nd:YAG laser in the high collection efficiency regime ", Opt. Commun, vol 222, 371–381, 2003.

[51] Yabe. Y, Ohkubo. T, Uchida. S, Nakatsuka. M, Funatsu. T, Mabuti. A, Oyama. A, Nakagawa. Y, Oishi. T, Daito. K, Behgol. B, Nakayama. Y, Yoshida. M, Motokoshi. S, Sato. Y, Baasandash. C," High efficiency and economical solar energy pumped laser with Fresnel lens and chromium co-doped laser medium ", Appl. Phys. Lett, vol 90, 261120–261123, 2007.

[52] Liang. D, Almeida. J ," Highly efficient solar-pumped Nd:YAG laser ", Opt. Express, vol 19, 26399– 26405, 2011

[53] Dinh. T. H , Ohkubo. T, Yabe. T, Kuboyama. H, " 120 W continuous wave solar-pumped laser with a liquid light-guide lens and a Nd:YAG rod ", Opt. Lett, vol 37, 2670–2672, 2012.

[54] Almeida. J, Liang. D , Guillot. E, " Improvement in solar-pumped Nd:YAG laser beam brightness ", Opt. Laser Tech, vol 44, 2115- 2119, 2012.

[55] https://www.promes.cnrs.fr/sfera-iii-summer-school-and-doctoral-colloquium-5-9th-juin-2021-almeria-spain/

[56] N. Hamrouni, S. Mehellou, F. Rehouma ," Study Of Nd: YAG Solar Laser Output Performance in end Pumping and Sid Pumping Configurations ", Journal of Applied and Fundamental Sciences, vol 12(1S),49-55, 2020

[57] Bouadjemine. R, Liang. D, Almeida. J, Mehellou.S, Vistas. C. R, Kellou. A, Guillot. E, " Stable TEM00-mode Nd:YAG solar laser operation by a twisted fused silica light-guide ",Opt. Laser Tech, vol 97, 1-11, 06.003, 2017

[58] Mehellou. S, Liang.D , Almeida.J , Bouadjemine. R, Vistas.C.R, Guillot.E Rehouma. F, "Stable solar-pumped TEM00mode 1064 nm laser emission by a monolithic fused silica twisted light guide", Sol. Energ, vol155, 1059-1071,07.048,2017.

الملخص

فتحت فكرة الليزر الشمسي مجالا واسعا في ميدان البحث و التطوير حيث تعتمد هذه التقنية على طاقة ضخ بديلة و دائمة تتمثل في أشعة الشمس و هذا بعد تركيزها حيث يتم بواسطتها اثارة المادة الفعالة.

يهدف تحسين مردود أنظمة الليزر الشمسي إلى الحصول على أكبر طاقة ليزر ممكنة انطلاقا من الطاقة الشمسية المركزة المستعملة في تحفيز الوسط الليزري مما يتوجب تحسين أداء كل عناصر منظومة الليزر الشمسي انطلاقا من نظام تجميع و تركيز الطاقة الشمسية و وصولا إلى منظومة توليد أشعة الليزر (رأس الليزر).

تركز التحسين في هذا العمل على تطوير أداء منظومة تجميع و تركيز الطاقة الشمسية و هذا باستعمال مركز مصفوف حلقي الذي يجمع بين ميزة المركز ذو القطع المكافئ (نسبة تركيز عالية) و ميزة عدسة فرينل (تفادي مشكل التظليل) ، أعطت نتائج المحاكاة قيمة الطاقة المركزة في بؤرة المركز: **91.69w** بزيادة **5.44w** عن الدراسة السابقة باستعمال المركز خارج المحور و بنسبة تحسين قدرت بـ: **%6.30** كما أظهرت النتائج أن الاستطاعة ذات توزيع شبه قوسي، سوف يؤثر هذا التحسين بالتأكيد بالإيجاب على قيمة طاقة الليزر المولدة.

الكلمات المفتاحية: الاشعاع الشمسي ، المركز الشمسي ذو القطع المكافئ ، المركز الشمسي خارج المحور، عدسة فرينل ، المركز مصفوف الحلقي ، الليزر الشمسي .

Résumé

L'idée du laser solaire a ouvert un large champ dans le domaine de la recherche et du développement, car cette technologie utilise une énergie alternative et permanente pour le pompage des matériaux lasers, qui est l'énergie solaire, et cela après sa concentration.

L'amélioration du rendement des systèmes laser solaires vise à obtenir la plus grande énergie laser possible à partir de l'énergie solaire concentrée utilisée pour stimuler le milieu laser, ce qui nécessite d'améliorer les performances de tous les éléments du système laser solaire, du système de collecte et de concentration d'énergie solaire ainsi que le système de génération de faisceau laser.

L'ajout de ce travail a porté sur le développement des performances du système de collecte et de concentration de l'énergie solaire utilisant le concentrateur (Ring Array Concentrator), qui combine l'avantage du concentrateur parabolique (taux de concentration élevé) et la caractéristique de la lentille de Fresnel (évitant le problème d'ombrage).

*Les résultats de la simulation ont donné la valeur de l'énergie focalisée au foyer : **91,69 W**, soit une augmentation de **5,44 W** par rapport à l'étude précédente en utilisant le concentrateur (Off Axis Concentrator), et un taux d'amélioration estimé à : **6,30%.** La distribution de la lumière solaire concentrée est de forme presque Gaussienne, cette amélioration affectera certainement positivement la puissance laser générée.*

Mots clés : *Rayonnement solaire, concentrateur solaire parabolique, concentrateur solaire (Off Axis Concentrator), lentille de Fresnel, concentrateur solaire (Ring Array Concentrator) , laser solaire.*

riassunto

L'idea del laser solare ha aperto un ampio campo nel campo della ricerca e sviluppo, perché questa tecnologia utilizza un'energia alternativa e permanente per il pompaggio di materiali laser, che è l'energia solare, e quella dopo la sua concentrazione.

Il miglioramento dell'efficienza dei sistemi laser solari mira a ottenere quanta più energia laser possibile dall'energia solare concentrata utilizzata per stimolare il mezzo laser, il che richiede il miglioramento delle prestazioni di tutti gli elementi del sistema laser solare, della raccolta e della concentrazione dell'energia solare sistema così come il sistema di generazione del raggio laser.

L'aggiunta di questo lavoro si è concentrata sullo sviluppo delle prestazioni del sistema di raccolta e concentrazione dell'energia solare utilizzando il Concentratore Array Array, che combina il vantaggio del concentratore parabolico (alto tasso di concentrazione) e la caratteristica della lente di Fresnel (evitando il problema dell'ombreggiatura).

I risultati della simulazione hanno dato il valore dell'energia focalizzata al fuoco: ***91,69 W****, un aumento di* ***5,44 W*** *rispetto allo studio precedente utilizzando il concentratore (Off Axis Concentrator), e un miglioramento della velocità stimato in:* ***6,30%.*** *La distribuzione della luce solare concentrata è di forma quasi gaussiana, questo miglioramento influenzerà sicuramente positivamente la potenza del laser generata.*

Parole chiave: ***Radiazione solare, concentratore solare parabolico, concentratore solare (Off Axis Concentrator), lente di Fresnel, concentratore solare (Ring Array Concentrator), laser solare.***